

Por que uma nova edição?

Diversas razões justificam esta quarta edição. A nova Norma da ABNT NBR 5410/ 1997, publicada em 1998, trouxe algumas inovações que procuramos transmitir, em linguagem clara e acessível. Outro fato que acentuamos foi a privatização de empresas de eletricidade e de telecomunicações, que lembramos em alguns capítulos desta quarta edição, pois foram criadas as Agências reguladoras, tais como a ANEEL (eletricidade) e a ANATEL (telefonia), com a extinção do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.

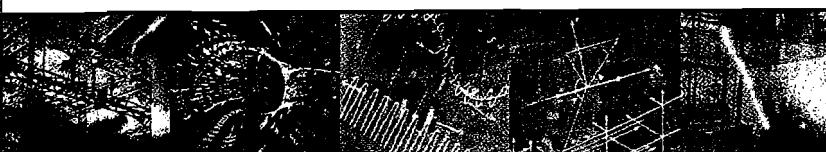
Mantivemos, da edição anterior, os avanços no capítulo de luminotécnica, bem como a profusão de exemplos e figuras dos materiais utilizados, além de numerosos exercícios resolvidos.

Os conceitos e o uso permanente das Normas Brasileiras - NBR 5410/ 97, atualizados, são, sempre que possível, citados quando concernentes ao assunto que está sendo desenvolvido.

LTC LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS EDITORA

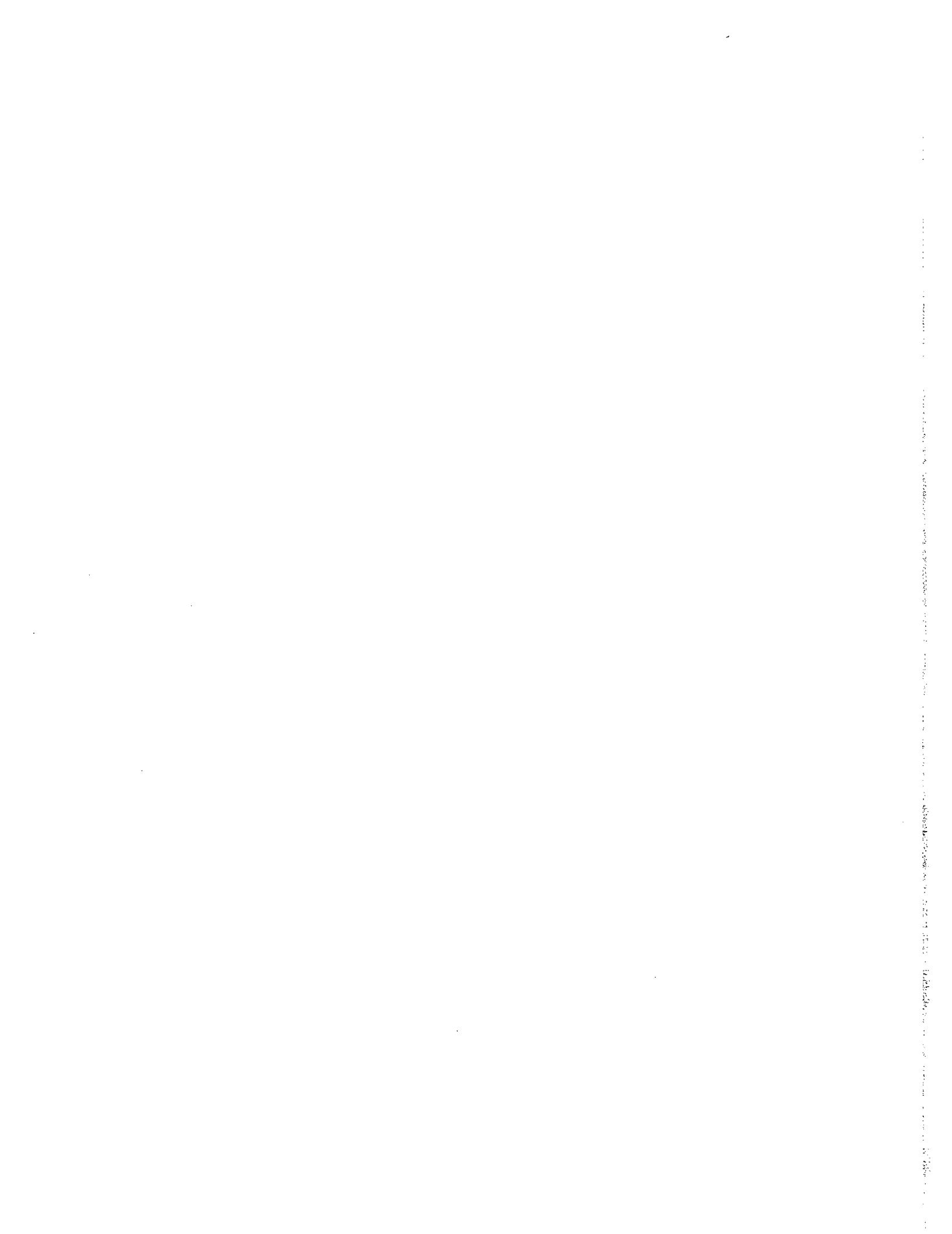


*Julio Niskier
A. J. Macintyre*



Instalações Elétricas

LTC



Instalações Elétricas

Instalações Elétricas

Julio Niskier

Engenheiro Eletricista pela UFRJ. Mestrado pela UFRJ.

Ex-professor da Escola de Engenharia da UFRJ.

Pós-graduado em Engenharia de Segurança pela UERJ.

Inspetor de Riscos Graduado pela Escola Nacional de Seguros do IRB.

Diretor da IECIL — Instalações e Engenharia.

Archibald Joseph Macintyre

Membro da Academia Nacional de Engenharia.

Professor do Centro Técnico-Científico

da PUC-RJ, do Instituto Militar de Engenharia (IME) e do

Núcleo de Treinamento Tecnológico (NTT),

Professor inativo das Escolas de Engenharia da UFRJ e da UERJ.

Quarta edição

LTC
EDITORAS

Prefácio da Quarta Edição

Este livro já cumpriu parte importante de seus objetivos traçados inicialmente: a divulgação da técnica de instalações prediais para um número crescente de interessados, de maneira sistemática, apoiada nos conhecimentos mínimos e indispensáveis da teoria. Agora, ao atravessar o século, aparece atualizado, com os novos materiais surgidos e refletindo as exigências da NBR 5.410:1997, editada em 1998, a mais recente publicação da Associação Brasileira de Normas Técnicas para as Instalações de Baixa Tensão.

Foram importantes o auxílio da equipe técnica da IECIL — Instalações, Engenharia, Comércio e Indústria Ltda., sob a direção da Arq. Marcia Balsam Niskier, e a colaboração dedicada da Arq. Gabriela Hue Moraes.

Agradecemos a acolhida de engenheiros, professores e profissionais de instalações, sem os quais não chegaríamos a esta Quarta Edição. O convívio estimulante com a LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora deu-nos a força indispensável para entregarmos à generosidade de todos a síntese de uma longa experiência acumulada em projetos e obras.

OS AUTORES
Rio, agosto de 2000

a: Dan Palatnik

itos exclusivos para a língua portuguesa
right © 1996, 2000 by Julio Niskier e A. J. Macintyre
C — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
ressa do Ouvidor, 11
de Janeiro, RJ — CEP 20040-040
: 21-221-9621
: 21-221-3202

ervados todos os direitos. É proibida a duplicação ou
rodução deste volume, no todo ou em parte,
qualsquer formas ou por quaisquer meios
(trônico, mecânico, gravação, fotocópia ou outros)
permissão expressa da Editora.

Prefácio da Primeira Edição

A redação de um livro sobre instalações elétricas oferece a seus autores um duplo risco e uma dupla tentação. Pode-se enfatizar o aspecto teórico — transformando a obra em um tratado de eletrotécnica ou de sistemas elétricos —, minimizando o lado prático, ou desprezar a indispensável teoria e criar um texto que se torne apenas um receituário básico para a solução de problemas de ocorrência mais comum.

Tivemos sempre o cuidado de fugir a esses dois caminhos, procurando a dosagem correta entre os aspectos teóricos e práticos que proporcionam ao estudante e ao profissional uma obra que atenda às necessidades da boa formação acadêmica e da profissão de engenheiros, arquitetos, projetistas, técnicos e desenhistas.

Portanto, o critério que nos orientou na escolha dos assuntos abordados e do conteúdo de cada capítulo foi oferecer aos leitores uma obra que aliasse os conhecimentos exigíveis em um livro-texto ao conjunto de informações indispensáveis àqueles que trabalham com instalações.

A própria natureza da obra pressupõe sua subordinação às normas da ABNT-e aos regulamentos das empresas concessionárias e de serviços públicos. O desconhecimento dessas exigências torna inviáveis a elaboração de qualquer projeto e até mesmo a obtenção da ligação de um ramal de energia elétrica ou cabo telefônico. Assim, fornecemos ao leitor as mais recentes e atualizadas normas e regulamentos em vigor.

É imperioso que façamos um agradecimento a quantos, pelas suas publicações, trabalhos, obras, ensinamentos e sugestões, nos permitiram reunir em um livro aquilo que com eles aprendemos. Foram muitos os que, ao longo dos anos, nos deram, direta ou indiretamente, sua parcela de colaboração. Professores, autores, engenheiros, industriais, projetistas, desenhistas e operários eletricistas, cada qual a seu modo, fizeram-nos conhecer a realidade dos problemas ligados às instalações elétricas e as soluções que sua experiência e prática diária apontavam para cada caso. A eles creditamos os eventuais méritos que possam ser encontrados neste trabalho.

Esperamos que os leitores possam queimar etapas na obtenção dos conhecimentos e informações através do que lhes estamos transmitindo e foi adquirido com longo, perseverante e entusiástico trabalho em instalações elétricas.

Os Autores

Sumário

1 Conceitos Básicos de Eletricidade com Vistas a Instalações, 1

- 1.1 Constituição da Matéria, 1
- 1.2 Grandezas Elétricas, 2
- 1.3 Produção de uma Força Eletromotriz, 12
- 1.4 Geração de Corrente em um Alternador, 14
- 1.5 Potência Fornecida pelos Alternadores, 20
- 1.6 Ligação dos Aparelhos de Consumo de Energia Elétrica, 23
- 1.7 Emprego de Transformadores, 25

2 Fornecimento de Energia aos Prédios. Alimentadores Gerais, 29

- 2.1 Privatizações, 29
- 2.2 O que Muda com a Portaria n.º 466, 30
- 2.3 Modalidades de Ligações, 31
- 2.4 Ramais, 34
- 2.5 Ligação Provisória de Energia, 37
- 2.6 Ligação Definitiva de Energia, 37

3 Instalações para Iluminação e Aparelhos Domésticos, 42

- 3.1 Norma que Rege as Instalações em Baixa Tensão, 42
- 3.2 Elementos Componentes de uma Instalação Elétrica, 42
- 3.3 Símbolos e Convenções, 45
- 3.4 Esquemas Fundamentais de Ligações, 45
- 3.5 Estimativa de Carga, 60
- 3.6 Potência Instalada e Potência de Demanda, 63
- 3.7 Intensidade da Corrente, 63
- 3.8 Fornecimento às Unidades Consumidoras, 67
- 3.9 Cálculo da Carga Instalada e da Demanda Segundo Prescrições da Light, 69

4 Condutores Elétricos — Dimensionamento e Instalação, 98

- 4.1 Considerações Básicas, 98
- 4.2 Seções Mínimas dos Condutores, 102
- 4.3 Tipos de Condutores, 103
- 4.4 Dimensionamento dos Condutores, 103
- 4.5 Número de Condutores Isolados no Interior de um Eletroduto, 127
- 4.6 Cálculo dos Condutores pelo Critério da Queda de Tensão, 130

- 4.7 Aterramento, 135
 4.8 Cores dos Condutores, 144

5 Comando, Controle e Proteção dos Circuitos, 145

- 5.1 Introdução, 145
 5.2 Dispositivos de Comando dos Circuitos, 145
 5.3 Dispositivos de Proteção dos Circuitos, 149
 5.4 Relés de Subtensão e Sobrecorrente, 159
 5.5 Dispositivo Diferencial-Residual, 160
 5.6 Relés de Tempo, 162
 5.7 *Master Switch*, 162
 5.8 Relé de Partida, 164
 5.9 Comando por Células Fotoelétricas, 166
 5.10 Seletividade, 168
 5.11 Variador da Tensão Elétrica, 171

6 Instalações para Motores, 173

- 6.1 Classificação dos Motores Elétricos, 173
 6.2 Variação de Velocidade do Motor, 176
 6.3 Escolha do Motor, 177
 6.4 Potência de Motor Elétrico, 178
 6.5 Fator de Potência, 178
 6.6 Corrente no Motor Trifásico, 181
 6.7 Resumo das Fórmulas para Determinação de I (Ampères), P (cv, kW e kVA) e Graus de Proteção, 182
 6.8 Conjugado do Motor Elétrico, 183
 6.9 Corrente de Partida no Motor Trifásico, 185
 6.10 Letra-código, 186
 6.11 Dados de Placa, 187
 6.12 Ligações dos Terminais dos Motores, 188
 6.13 Circuitos de Motores, 189
 6.14 Dimensionamento dos Alimentadores dos Motores, 192
 6.15 Dispositivos de Ligação e de Desligamento, 197
 6.16 Dispositivos de Proteção dos Motores, 203
 6.17 Dispositivos de Proteção do Ramal, 205
 6.18 Centro de Controle de Motores, 207
 6.19 Curto-circuito, 207

7 Tubulações Telefônicas — Seqüência Básica para Elaboração do Projeto, 216

- 7.1 Introdução, 216
 7.2 Tubulação Secundária, 216
 7.3 Tubulação Primária, 226
 7.4 Tubulação de Entrada, 229
 7.5 Edifícios Constituídos de Vários Blocos, 237
 7.6 Privatizações do Sistema de Telefonia, 240

8 Luminotécnica, 241

- 8.1 Conceitos e Grandezas Fundamentais, 241
 8.2 Lâmpadas, 246
 8.3 Cor da Luz, 266
 8.4 Vida Útil e Rendimento Luminoso das Lâmpadas, 266

- 8.5 Emprego de Ignitores, 267
 8.6 Luminárias, 269
 8.7 Projeto de Iluminação, 269
 8.8 Iluminação pelo Método de “Ponto a Ponto”, 296
 8.9 Diagramas Fotométricos, 299

9 Correção do Fator de Potência, 307

- 9.1 Fundamentos, 307
 9.2 Nova Legislação, 308
 9.3 Correção do Fator de Potência, 312
 9.4 Aumento na Capacidade de Carga pela Melhora do Fator de Potência, 314
 9.5 Equipamentos Empregados, 319
 9.6 Prescrições para Instalação de Capacitores, 320
 9.7 Associação de Capacitores, 325
 9.8 Determinação do Fator de Potência, 327

10 Pára-raios Prediais, 329

- 10.1 Eletricidade Atmosférica, 329
 10.2 Classificação dos Pára-raios, 331
 10.3 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), 332
 10.4 Resistência de Terra, 336
 10.5 Dimensionamento de um SPDA, 338
 10.6 Métodos de Cálculo da Proteção contra Descargas Atmosféricas, 338

11 Sinalização, Comunicação e Comandos, 342

- 11.1 Sinalização, 342
 11.2 Porteiro Eletrônico, 347
 11.3 Sinalização Acústico-Visual em Hospitais, 348
 11.4 Comunicação Interna, 351
 11.5 Abertura e Fechamento de Portões, 351
 11.6 Iluminação de Emergência, 351
 11.7 Portas Automáticas, 352
 11.8 Relógios de Controle, 353
 11.9 Emergência e Sistema *No-Break*, 356

12 Eletrotermia, 362

- 12.1 Introdução, 362
 12.2 Processos Empregados em Eletrotermia, 362
 12.3 Aquecimento Resistivo, 364
 12.4 Aquecedores Elétricos de Água, 367
 12.5 Caldeiras Elétricas para Geração de Vapor, 368
 12.6 Fornos Elétricos, 380

13 Subestações Abaixadoras de Tensão, 383

- 13.1 Fornecimento de Energia em Tensão Primária de Distribuição, 383
 13.2 Modalidades de Subestações, 385
 13.3 Subestação até 13,8 kV, 385
 13.4 Prédios com Mais de uma Subestação, 400
 13.5 Medição, 404
 13.6 Proteção do Sistema Elétrico, 405

Ramal de Alimentação, Medição de Energia e Prescrições do Corpo de Bombeiros, 406

- 14.1 Considerações Preliminares, 406
- 14.2 Solicitação de Fornecimento de Energia em Tensão Secundária de Distribuição, 406
- 14.3 Normas para a Apresentação do Projeto de Instalações, 408
- 14.4 Sistema Elétrico de Emergência em Prédios Alimentados em Baixa Tensão, 444
- 14.5 Tabelas Auxiliares, 452

Sistemas de Segurança e Centrais de Controle, 454

- 15.1 Edifício Inteligente, 454
- 15.2 Sistemas de Alarme contra Roubo, 455
- 15.3 Sistemas de Alarme contra Fogo, Fumaça e Gases, 456
- 15.4 Central de Supervisão e Controle, 461

Materiais Empregados e Tecnologia de Aplicação, 466

- 16.1 Introdução, 466
- 16.2 Definições Gerais, 466
- 16.3 Condutos, 469
- 16.4 Instalação em Dutos, 482
- 16.5 Instalação em Calhas e Canaletas, 483
- 16.6 Dutos, 490
- 16.7 Molduras, Rodapés e Alizares, 493
- 16.8 Espaços Vazios e Poços para Passagem de Cabos, 495
- 16.9 Instalações sobre Isoladores, 495
- 16.10 Instalações em Linhas Aéreas, 497
- 16.11 Caixas de Embutir, Sobrepor e Multiuso, 498
- 16.12 Caixas de Distribuição Aparente (*Conduteles*), 500
- 16.13 Quadros Terminais de Comando e Distribuição, 505

7 Exemplo de Projeto de Instalações Elétricas, 506

- 17.1 Introdução, 506
- 17.2 Elementos Constitutivos de um Projeto, 506
- 17.3 Projeto de um Prédio de Apartamentos, 508

8 Unidades e Conversões de Unidades, 532

- 18.1 Unidades Básicas do Sistema Internacional de Unidades — SI. Segundo a Resolução — *Commetro 01/82*, 532.
- 18.2 Prefixos no Sistema Internacional (Os Mais Usuais), 532
- 18.3 Unidades Elétricas e Magnéticas, 532
- 18.4 Tabela de Fatores de Conversão, 533
- 18.5 Equivalências Importantes, 539
- 18.6 Alfabeto Grego, 540

Bibliografia, 541

Índice Alfabético, 545

1

Conceitos Básicos de Eletricidade com Vistas a Instalações

1.1 CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA

- A compreensão dos fenômenos elétricos supõe um conhecimento básico da estrutura da matéria, cujas noções fundamentais serão resumidas a seguir.

Toda matéria, qualquer que seja seu estado físico, é formada por partículas denominadas *moléculas*. As moléculas são constituídas por combinações de tipos diferentes de partículas extremamente pequenas, que são os átomos. Quando uma determinada matéria é composta de átomos iguais, é denominada *elemento químico*. É o caso, por exemplo, do oxigênio, hidrogênio, ferro etc., que são alguns dos elementos que existem na natureza. A molécula da água, como sabemos, é uma combinação de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio.

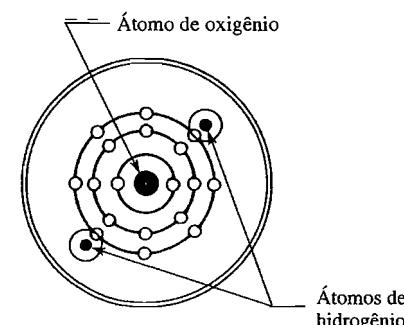


Fig. 1.1 Molécula da água.

Os átomos são constituídos por partículas extraordinariamente pequenas, das quais as mais diretamente relacionadas com os fenômenos elétricos básicos são as seguintes:

- *prótons*, que possuem carga elétrica positiva;
- *elétrons*, possuidores de carga negativa;
- *nêutrons*, que são eletricamente neutros.

Uma teoria bem-fundamentada afirma que a estrutura do átomo tem certa semelhança com a do sistema solar. O *núcleo*, em sua analogia com o sol, é formado por *prótons* e *nêutrons*, e em redor do mesmo giram, com grande velocidade, elétrons planetários. Tais elétrons são numericamente iguais aos prótons, e este número influí nas características do elemento químico.

Os elétrons, que giram segundo órbitas mais exteriores, são atraídos pelo núcleo com uma força de atração menor do que a exercida sobre os elétrons das órbitas mais próxi-

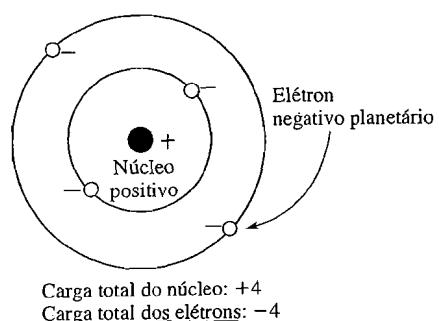


Fig. 1.2 Átomo com duas camadas de elétrons.

mas do núcleo. Como os elétrons mais exteriores podem ser retirados de suas órbitas com certa facilidade, são denominados *elétrons livres*.

O acúmulo de elétrons em um corpo caracteriza a *carga elétrica* do mesmo. Apesar de o número de elétrons livres constituir uma pequena parte do número de elétrons presentes na matéria, eles são, todavia, numerosos. O movimento desses elétrons livres se realiza com uma velocidade da ordem de 300.000 km/s e se denomina “corrente elétrica”.

Em certas substâncias, a atração que o núcleo exerce sobre os elétrons é pequena; estes elétrons têm maior facilidade de se libertar e deslocar. É o que ocorre nos metais como a prata, o cobre, o alumínio etc., denominados, por isso, *condutores elétricos*. Quando, ao contrário, os elétrons externos se acham submetidos a forças interiores de atração que dificultam consideravelmente sua libertação, as substâncias em que isso ocorre são denominadas *isolantes elétricos*. É o caso do vidro, das cerâmicas, dos plásticos etc. Pode-se dizer que um condutor elétrico é um material que oferece pequena resistência à passagem dos elétrons, e um isolante elétrico é o que oferece resistência elevada à corrente elétrica.

Assim como em hidráulica, a unidade de volume de líquido é o m^3 , em eletricidade prática exprime-se a “quantidade” de eletricidade em *coulombs*.*

1.2 GRANDEZAS ELÉTRICAS

1.2.1 POTENCIAL ELÉTRICO

Quando, entre dois pontos de um condutor, existe uma diferença entre as concentrações de elétrons, isto é, de carga elétrica, diz-se que existe um *potencial elétrico* ou uma *tensão elétrica* entre esses dois pontos.

Consideremos uma pilha comum. A ação química obriga as cargas positivas a se reunirem no terminal positivo e os elétrons ou cargas negativas a se reunirem no terminal negativo. Desta forma cria-se uma pequena diferença de potencial energético (d.d.p.) entre estes terminais, que estabelecerá um deslocamento dos elétrons entre o terminal negativo e o positivo. Este deslocamento de elétrons deve-se à ação de uma força chamada *força eletromotriz* (f.e.m.). Se estabelecermos um circuito fechado, ligando um terminal ao outro por um condutor, a tensão a que os elétrons livres estão submetidos desloca-se ao longo do condutor, estabelecendo-se assim uma *corrente elétrica*, cujo sentido é de-

finido por convenção (do pólo positivo [+] para o pólo negativo [-], no circuito externo), como se vê na Fig. 1.3, embora se saiba que o sentido real da corrente é do pólo negativo para o pólo positivo.

Se em vez de uma pilha ou bateria tivermos um *gerador elétrico rotativo*, realizar-se-á fenômeno semelhante. Desenvolve-se no gerador uma tensão interna do pólo negativo (-) para o positivo (+), que é a força eletromotriz, graças à qual o gerador fornece corrente a um condutor ligado aos seus terminais, orientada do pólo negativo (-) para o pólo positivo (+).

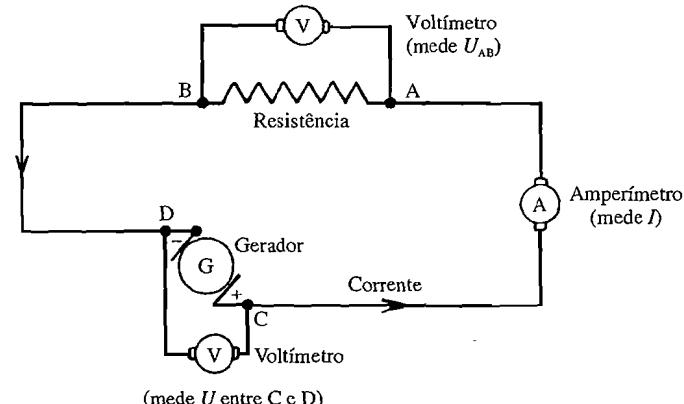


Fig. 1.3 Circuito elétrico com resistência ohmica.

A tensão é medida em *volts*, cuja definição será apresentada mais adiante e determinada com o voltímetro.

Convenciona-se empregar as letras *E* para designar a f.e.m. gerada ou induzida nos terminais de um gerador ou bateria. Usa-se, em geral, a letra *U* para representar a tensão ou diferença de potencial entre dois pontos de um circuito pelo qual a corrente passa. Uma parte da f.e.m. é aplicada em vencer a resistência interna do próprio gerador quando fornece a corrente. Esta perda interna é a diferença entre *E* e *U*, como será visto no item 1.2.2.

1.2.2 INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA

Os elétrons livres dos átomos de uma certa substância normalmente se deslocariam em todas as direções. Quando, em um condutor, o movimento de deslocamento de elétrons livres é mais intenso em um determinado sentido, diz-se que existe uma *corrente elétrica* ou um *fluxo elétrico* no condutor. A *intensidade* da corrente é caracterizada pelo número de elétrons livres que atravessa uma determinada seção do condutor na unidade de tempo. A unidade de intensidade da corrente elétrica é o *ampère*.

*Ampère (A)** é a corrente elétrica invariável que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível e situados no vácuo a 1 metro de distância um do outro, produz entre esses condutores uma força igual a 2×10^{-7} newtons,** por metro de comprimento desses condutores (Inmetro — Instituto Nacional de Metrologia).

*AMPÈRE, André Marie — físico e matemático francês (1775-1836).

**NEWTON, Sir Isaac — cientista e matemático inglês (1642-1727).

*COULOMB, Charles de — físico francês (1736-1806).

A medição da intensidade da corrente efetua-se com o auxílio de um *amperímetro*, ligado em *série* no circuito. Define-se, na prática, o ampère como a intensidade de escoamento de 1 coulomb em 1 segundo. Por analogia, a corrente elétrica se assemelha à vazão em hidráulica, expressa em m³/s, por exemplo.

1.2.3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Existe uma força de atração entre os elétrons e os respectivos núcleos atômicos e que resiste à liberação dos elétrons para o estabelecimento da corrente elétrica. Abreviadamente, designa-se essa oposição ao fluxo da corrente como *resistência*. Nos materiais ditos *condutores*, a corrente elétrica circula facilmente, porque a resistência que neles se verifica é pequena. Nos materiais isolantes, ocorre o contrário.

A unidade de resistência elétrica é o *ohm* (Ω),* que corresponde à resistência de um fio de mercúrio a 0°C, com um comprimento de 1,063 m e uma seção de 1 mm². Equivale à resistência elétrica de um elemento de circuito tal que uma diferença de potencial constante, igual a 1 *volt*, aplicada aos seus terminais, faz circular nesse elemento uma corrente invariável de 1 ampère.

$$1 \Omega = \frac{1V}{1A} \quad (I.1)$$

A resistência de um condutor depende de quatro fatores: material, comprimento, área da seção e temperatura.

A *resistividade* ou *resistência específica* de um material homogêneo e isótropo é tal que um cubo com 1 metro de aresta apresenta uma resistência elétrica de 1 ohm entre faces opostas. Seu símbolo é o ρ (ρ). O Inmetro indica como unidade de resistividade o *ohm × metro* ($\Omega \times m$).

A resistência de um *condutor* de seção uniforme, expressa em *ohms*, é dada por:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (I.2)$$

sendo:

l — comprimento do condutor (m)

S — seção reta do condutor (m²)

ρ — resistividade do condutor ($\Omega \times m$)

Pode-se usar a fórmula com:

S em mm²; ρ em $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$

Valores da resistividade ρ a 15°C

Cobre — 0,0178 $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$, ou $\frac{1}{56} \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$

Alumínio — 0,028 $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$

Prata-liga — 0,300 $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$

Denominam-se *resistores* os elementos de circuito elétrico que se caracterizam por sua *resistência*.

■ Exemplo 1.1

Calcular a resistência de um condutor de cobre a 15°C, sabendo-se que a seção do mesmo é de 3 mm² e que seu comprimento é de 200 m.

*OHM, Georg Simon — físico alemão (1787-1854).

Solução

Para o cobre, $\rho = 0,0178 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
A resistência é dada por:

$$R = \rho \frac{l}{S} \therefore R = \rho \left[\Omega \times \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right], \text{ sendo } l (\text{m}) \text{ e } S (\text{mm}^2);$$

portanto,

$$R = \frac{0,0178 \times 200}{3} = 1,186 \text{ ohms}$$

Variação de resistência com a temperatura

A resistência do condutor depende da temperatura a que ele se acha submetido.

Denomina-se *coeficiente de temperatura* (α) a variação da resistência de um condutor, quando a temperatura varia de 1°C.

Para o cobre, $\alpha = 0,0039^\circ\text{C}^{-1}$ a 0°C e $0,004^\circ\text{C}^{-1}$ a 20°C.

Para o alumínio, $\alpha = 0,0038^\circ\text{C}^{-1}$ a 20°C.

A variação de resistência com a temperatura é expressa por:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad (I.3)$$

sendo

R_0 — resistência a 0°C (Ω)

R_t — resistência a uma temperatura de $t^\circ\text{C}$ (Ω)

Se a temperatura variar de t_1 para t_2 , a resistência variará do valor R_0 para o valor R_t , segundo a expressão:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (I.4)$$

■ Exemplo 1.2

Um condutor de cobre tem uma resistência de 120 Ω a 20°C. Qual será sua resistência se a temperatura for de 50°C?

Dado: $\alpha_{\text{cobre}} = 0,004^\circ\text{C}^{-1}$ a 20°C

Solução

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

$$R_{50} = 120 [1 + 0,004 (50 - 20)] = 134,4 \text{ ohms}$$

1.2.4 LEI DE OHM

A intensidade da corrente I que percorre um condutor é diretamente proporcional à f.e.m. E , que a produz, e inversamente proporcional à resistência R do condutor, isto é:

$$I = \frac{E}{R} \quad (I.5)$$

onde

I — intensidade da corrente (A)

E — tensão ou f.e.m. (V)

R — resistência (Ω)

A lei de Ohm é aplicável, sob esta forma simples, para:

- circuitos de corrente contínua contendo apenas uma f.e.m.;
- condutores ou resistências de corrente contínua;
- qualquer circuito contendo apenas resistências.

Para circuitos envolvendo elementos mais complexos que serão vistos adiante, a lei de Ohm não se aplica sob essa forma simples.

■ Exemplo 1.3

Qual a resistência da lâmpada incandescente ligada a um circuito de 120 V, sabendo-se que o amperímetro indica 0,5 A e que a resistência dos fios é desprezível?

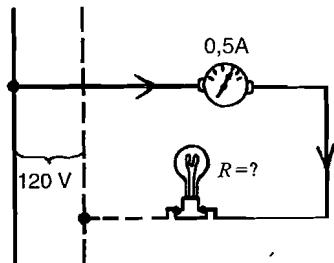


Fig. 1.4 Esquema do circuito elétrico, indicando a resistência a ser determinada.

Solução

A diferença de potencial existente entre os parafusos do soquete da lâmpada é de 120 V, de modo que temos:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{120}{0,5} = 240 \Omega$$

1.2.5 POTÊNCIA ELÉTRICA

A potência é definida como sendo o trabalho efetuado na unidade de tempo. Assim como a potência hidráulica é dada pelo produto do desnível energético pela vazão, a potência elétrica, para um circuito puramente resistivo, é obtida pelo produto da tensão U pela intensidade da corrente I :

$$P = U \times I \quad (1.6)$$

A unidade de potência é o watt (W), sendo $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$.

Pela lei de Ohm, sabemos que:

$$U = R \times I$$

de modo que podemos escrever:

$$P = R \times I^2 \quad (1.7)$$

e

$$R = \frac{U}{I}, \text{ sendo } P = U \times I \text{ e } I = \frac{P}{U}; \text{ logo, } R = \frac{U^2}{P}.$$

■ Exemplo 1.4

Um chuveiro elétrico indica na plaqueta 3.000 W e 220 V. Quais os valores da corrente que ele absorve e da resistência do mesmo?

Solução

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3.000}{220} = 13,6 \text{ A}$$

e

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{3.000} = 16,1 \Omega$$

1.2.6 ENERGIA E TRABALHO

A energia consumida, ou o trabalho elétrico T efetuado, é dada pelo produto da potência P pelo tempo t , durante o qual o fenômeno elétrico ocorre. As fórmulas que permitem calcular este valor são:

$$T = P \times t = \text{watt} \times \text{hora (Wh)} \quad (1.9)$$

ou

$$T = U \times I \times t = \text{watt} \times \text{hora (Wh)} \quad (1.10)$$

$$T = \frac{R \times I^2 \times t}{1.000} = \text{quilowatt} \times \text{hora (kWh)} \quad (1.11)$$

$$T = \frac{U \times I \times t}{1.000} = \text{quilowatt} \times \text{hora (kWh)} \quad (1.12)$$

O consumo de energia é medido em kWh pelos aparelhos das empresas concessionárias, e a tarifa é cobrada em termos de consumo, expresso na mesma unidade.

1.2.7 QUEDA DE TENSÃO

A tensão representa nível energético elétrico. A corrente elétrica, ao percorrer um circuito constituído por condutores e outros elementos resistivos, despende a energia que está dotada, a fim de vencer as resistências que lhe são opostas. Portanto, a tensão vai se reduzindo a partir da fonte geradora até o retorno da corrente à mesma fonte. Diz-se, pois, que ocorre uma queda de tensão ou perda de carga energética ao longo do circuito.

A tensão nos terminais do gerador, U , é igual ao produto da corrente que dele parte pela resistência externa, isto é, a resistência do circuito.

$$U = R_e \times I \quad (1.13)$$

A f.e.m. do gerador é aplicada em vencer a resistência interna R_i do próprio gerador em vencer a resistência externa R_e do circuito, da resistência do condutor e das resistências dos aparelhos de consumo nele intercaladas. Portanto, $R_e = R_{\text{condutor}} + R_{\text{aparelho de consumo}}$

$$E = \text{f.e.m.} = U + IR_i = U + \Delta U_{\text{gerador}} \quad (1.14)$$

Pela Fig. 1.5, vimos que uma parte da tensão gerada foi transformada em energia útil devido ao consumo das resistências dos aparelhos instalados ΔU_R (notação usada na Fig. 1.5), consumo este que não pode a rigor ser considerado uma perda de energia.

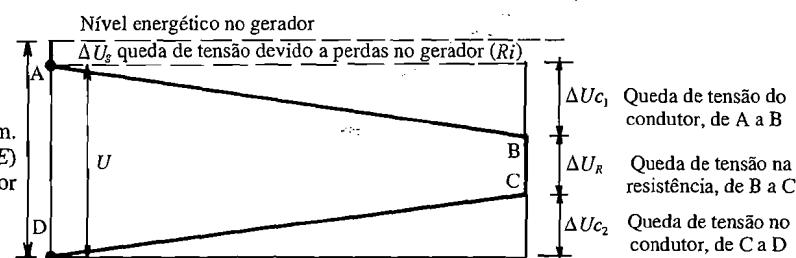
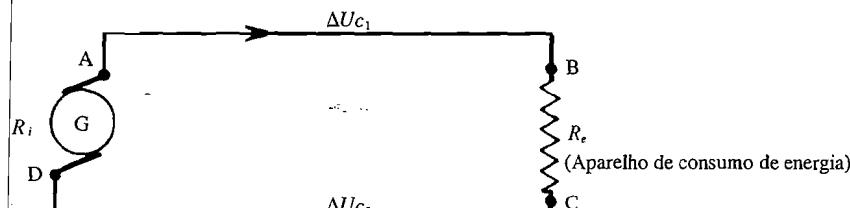


Fig. 1.5 Balanço energético em um circuito elétrico.

Exemplo 1.5

A tensão nominal (sem ligação de carga) de uma bateria é de 24 V, e sua resistência interna é de 0,5 Ω.

Ligou-se um aparelho de consumo à bateria e mediu-se num voltímetro, colocado nos bornes da bateria, uma tensão de 22 V. Qual a intensidade da corrente fornecida?

Solução

$$\text{f.e.m. } (E) = 24 \text{ V}; R_i = 0,5 \Omega; U = 22 \text{ V}$$

Sabemos que:

$$E = U + I \times R_i$$

Logo:

$$I = \frac{E - U}{R_i} = \frac{24 - 22}{0,5} = 4 \text{ A}$$

Exemplo 1.6

Um circuito de corrente contínua consome 20 A, e a queda de tensão no ramal que o alimenta não deve exceder 5 V. Qual a máxima resistência que pode ter esse ramal?

Solução

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{20} = 0,25 \Omega \text{ para os dois condutores. Cada um deverá ter } 0,125 \Omega.$$

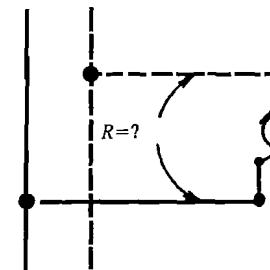


Fig. 1.6 Esquema do circuito elétrico, indicando a resistência a ser calculada.

1.2.8 CIRCUITOS COM RESISTÊNCIAS ASSOCIADAS**1.2.8.1 Circuitos com Resistências em Série**

Diz-se que existem resistências (resistores) associadas em série quando as mesmas são ligadas, extremidade com extremidade, diretamente ou por meio de trechos de condutores.

A Fig. 1.7 mostra que a mesma corrente I percorre todas as resistências e que a tensão U se divide pelos diversos elementos que constituem o circuito.

Assim:

$$U_{BE} = U_{BC} + U_{CD} + U_{DE} \quad (1.15)$$

e a resistência total equivalente será a soma das resistências em série no circuito.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1.16)$$

■ Exemplo 1.7

Na Fig. 1.7 as resistências são $R_1 = 42,9 \Omega$, $R_2 = 36,4 \Omega$ e $R_3 = 18,5 \Omega$.

Se aplicarmos entre os pontos B e E uma tensão de 220 volts, qual será a corrente que percorrerá o circuito?

Solução

A resistência equivalente R será:

$$R = 42,9 + 36,4 + 18,5 = 97,8 \Omega$$

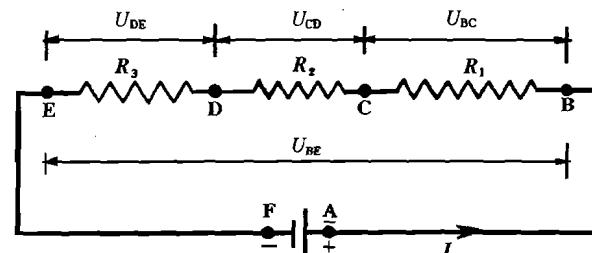


Fig. 1.7 Circuito com resistências em série.

A intensidade de corrente I será:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{220}{97,8} = 2,249 \text{ A}$$

■ Exemplo 1.8

Considerando o circuito do Exemplo 1.7, conhecidas as resistências R_1 , R_2 e R_3 e a intensidade da corrente acima determinada (2,249 A), calcular os valores da diferença de potencial nos terminais de cada uma das resistências e nos terminais B e E do circuito.

Solução

Apliquemos a lei de Ohm, $U = R \times I$, a cada um dos trechos do circuito.
Para:

$$R_1, U_1 = I \times R_1 = 2,249 \times 42,9 = 96,482 \text{ V}$$

$$R_2, U_2 = I \times R_2 = 2,249 \times 36,4 = 81,863 \text{ V}$$

$$R_3, U_3 = I \times R_3 = 2,249 \times 18,5 = 41,606 \text{ V}$$

a diferença de potencial entre B e E será:

$$U_{BE} = U_1 + U_2 + U_3 = 219,95 \approx 220 \text{ V}$$

1.2.8.2. Circuitos com Resistências em Paralelo

No circuito em paralelo, as extremidades das resistências estão ligadas a um ponto comum. As diversas resistências estão submetidas à mesma diferença de potencial, e a intensidade de corrente total é dividida entre os elementos do circuito, de modo inversamente proporcional às resistências.

Se um certo número de resistências $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ estiverem associadas em paralelo, a *resistência efetiva ou equivalente* do conjunto poderá ser calculada por:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.17)$$

e

$$\frac{1}{R} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{U^2} \quad (1.18)$$

sendo $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ as potências dos aparelhos correspondentes, respectivamente, às resistências $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$. As correntes serão dadas por:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}; \dots; I_n = \frac{U}{R_n} \quad (1.19)$$

■ Exemplo 1.9

Uma corrente de 25 A percorre um circuito com três resistências $R_1 = 2,5 \Omega$, $R_2 = 4,0 \Omega$ e $R_3 = 6,0 \Omega$ em paralelo (Fig. 1.8). Determinar as parcelas de corrente total que percorrem cada uma das resistências.

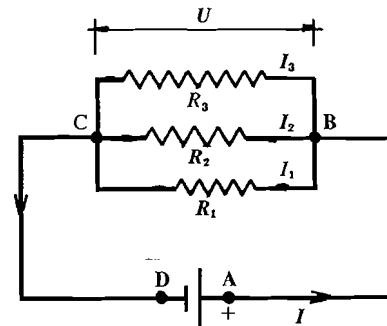


Fig. 1.8 Circuito com resistências em paralelo.

Solução

Temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2,5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = 0,40 + 0,25 + 0,16 = 0,81$$

$$R = \frac{1}{0,81} = 1,234 \Omega$$

Mas,

$$U = R_1 \times I_1 \quad (\text{I})$$

$$U = R \times I \quad (\text{II})$$

Dividindo-se (I) por (II), fica

$$R_1 \times I_1 = R \times I$$

logo,

$$\frac{I}{I_1} = \frac{R_1}{R}$$

onde,

$$I_1 = \frac{I \times R}{R_1} = \frac{25 \times 1,234}{2,5} = 12,34 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I \times R}{R_2} = \frac{25 \times 1,234}{4} = 7,71 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{I \times R}{R_3} = \frac{25 \times 1,234}{6} = 5,14 \text{ A}$$

Verificação:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 12,34 + 7,71 + 5,14 = 25,19 \text{ A} = 25 \text{ A}$$

3 PRODUÇÃO DE UMA FORÇA ELETROMOTRIZ

Como vimos no início deste capítulo, para que circule uma corrente elétrica é necessário haver uma diferença de tensão elétrica entre dois pontos. Estabelece-se o movimento de elétrons livres, do ponto de maior tensão para o de menor tensão ou tensão nula. A tensão elétrica é produzida em dispositivos ou máquinas adequados, e quando medida nos terminais destes geradores de eletricidade é, como vimos, denominada *força eletromotriz* (f.e.m.). Portanto, é necessário recorrer-se a um gerador de força eletromotriz para criar um desnível energético capaz de promover o deslocamento dos elétrons livres, isto é, a corrente elétrica ao longo dos condutores e dos aparelhos e equipamentos elétricos de utilização.

A obtenção da força eletromotriz pode realizar-se de várias maneiras:

- por atrito do vidro contra o couro, e da ebonite contra a lã;
- pela ação da luz sobre uma película de selênio ou telúrio, depositada sobre uma chapa de ferro (células fotoelétricas);
- pela ação de compressão e tração sobre cristais como o de quartzo (efeito piezelétrico);
- por aquecimento do ponto de soldagem entre dois metais diferentes (efeito termelétrico);
- por ação química de soluções de sais, ácidos e bases, na presença de dois metais diferentes ou de metal e carvão (pilhas e baterias);
- por indução eletromagnética, no caso dos geradores rotativos.

Vejamos como se estabelece uma f.e.m. por efeito de indução eletromagnética. Três são os processos pelos quais se pode obtê-la:

1.º Pelo movimento de um condutor num campo magnético.

Dado um campo magnético (formado por um ímã, por exemplo), se deslocarmos, com movimento de rotação, um condutor (uma espira), de modo que corte as linhas de força do campo magnético, origina-se uma f.e.m. entre os dois extremos do condutor. Se este estiver ligado a um circuito externo, circulará uma corrente elétrica pelo mesmo; este é o princípio do método empregado na produção da f.e.m. de um gerador de corrente elétrica, e o fenômeno se denomina *indução eletromagnética*.

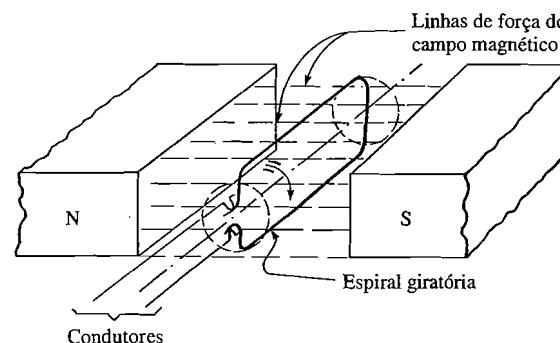


Fig. 1.9 Rotação de um condutor em um campo magnético.

2.º Pelo movimento de um campo magnético no interior de um solenóide. Se deslocarmos um ímã no interior de um solenóide, de tal modo que as linhas de força do campo magnético sejam cortadas pelas espiras do mesmo, estabelecer-se-á entre

os terminais do solenóide uma f.e.m. Se os terminais estiverem ligados a um circuito externo, circulará no mesmo uma corrente elétrica.

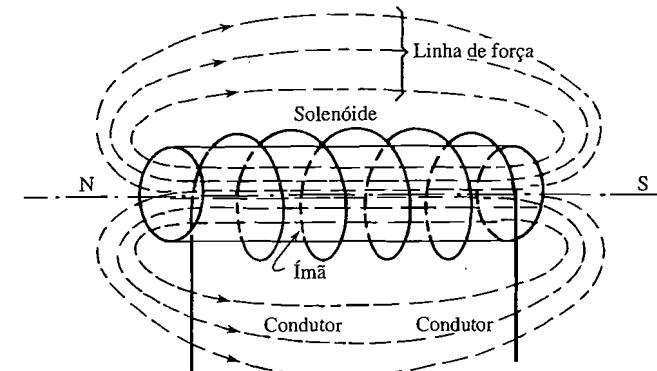


Fig. 1.10 Deslocamento longitudinal de um ímã no interior de um solenóide.

3.º Pela variação da intensidade de um campo magnético a cuja ação se acha submetido um condutor com espiras helicoidais. Este, a rigor, não é propriamente um método de geração de f.e.m., pois a variação de intensidade do campo magnético por uma corrente supõe a existência deste campo. Suponhamos que o núcleo representado na Fig. 1.11 seja constituído por um material capaz de ser magnetizado temporariamente (p. ex., o aço-silício) e que em torno do anel enrolemos dois condutores independentes um do outro, constituindo duas bobinas.

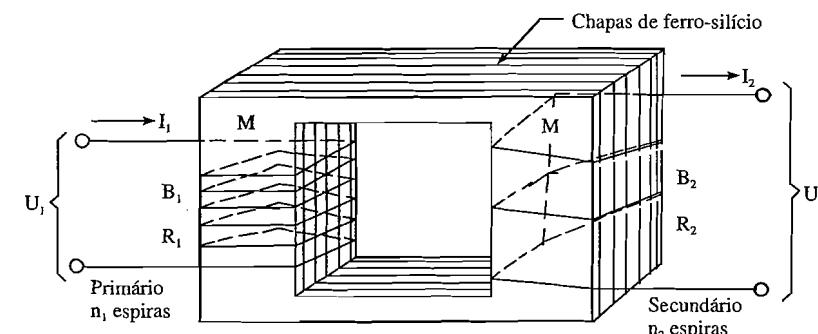


Fig. 1.11 Esquema básico de um transformador monofásico.

Se fizermos passar uma corrente elétrica em uma das bobinas envolvendo o núcleo de aço-silício, teremos formado um eletroímã e, em consequência, um campo magnético. Se esta corrente for alternada, a intensidade do campo mudará a cada variação da intensidade da corrente. Esta variação do fluxo magnético através da segunda bobina determinará, em seus terminais, o aparecimento de uma f.e.m. Se esta segunda bobina es-

triver ligada a um circuito externo, circulará, na mesma, uma corrente elétrica. Este princípio é empregado nos *transformadores*. A primeira bobina constituirá o *primário*, e a segunda, o *secundário* do transformador.

1.4 GERAÇÃO DE CORRENTE EM UM ALTERNADOR

1.4.1 GERADOR MONOFÁSICO

Vejamos de uma forma simples como se estabelece uma f.e.m. em um alternador monofásico. Para isso, consideremos a Fig. 1.12, onde vemos uma espira de material bom condutor de electricidade que gira, com velocidade angular constante, em torno do seu eixo longitudinal, no espaço compreendido entre os dois pólos de um ímã permanente (supondo campo magnético uniforme).

Na posição 1, a f.e.m. gerada é igual a zero, porque nesta posição nenhum dos dois lados da espira corta as linhas magnéticas e não há modificação do campo magnético na espira.

Na posição 2, há uma grande modificação no campo magnético, e a f.e.m. que ocorre é máxima.

Na posição 3, não há corte das linhas de fluxo magnético pela espira, e a f.e.m. é novamente nula. A partir de 3, verifica-se a inversão no sentido da f.e.m. no condutor, porque cada condutor se encontra agora sob o polo de sinal oposto ao que correspondia às posições entre 1 e 3. De 3 até 4, a f.e.m. cresce com sinal negativo, e de 4 até 5 o valor da mesma descrece ainda negativamente até zero. Continuando o movimento da rotação, a f.e.m. irá variando, repetindo-se o ciclo.

Na Fig. 1.12 acham-se representados, no eixo das abscissas, as posições sucessivas da bobina, e nas ordenadas, os valores da f.e.m. induzida, resultando uma curva senoidal.

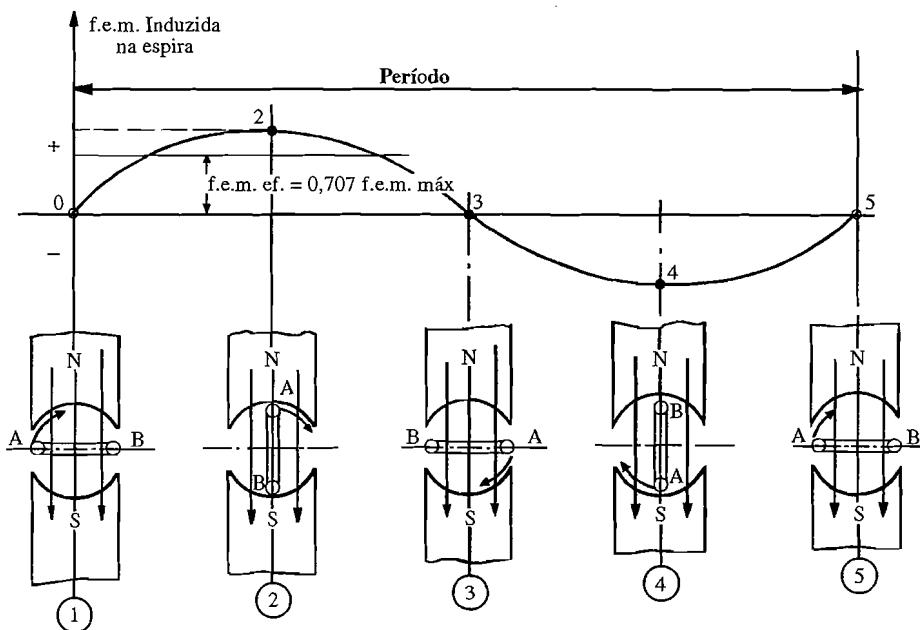


Fig. 1.12 Gerador de corrente elétrica monofásica e variação da f.e.m. em um período.

Na Fig. 1.13 vemos que a f.e.m. pode ser aplicada ao fornecimento da corrente elétrica a um circuito por meio de dois anéis I e II. Cada anel tem sua superfície externa contínua e é isolado eletricamente do outro e do eixo da espira. Uma lâmina metálica ou “escova” de carvão apóia-se sobre cada um dos anéis e conduz a corrente para o circuito externo.

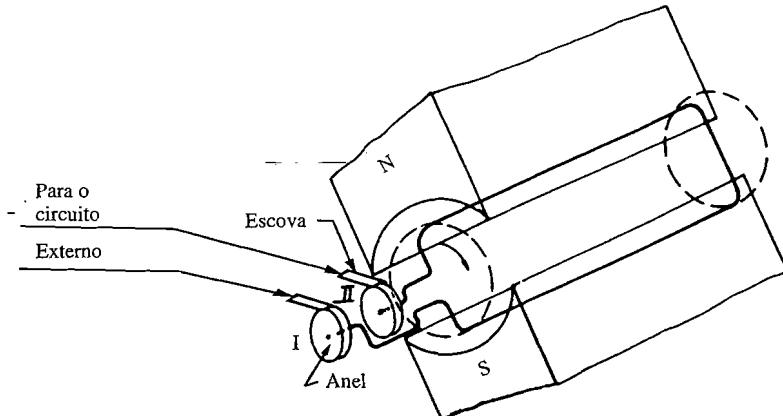


Fig. 1.13 Espira de gerador monofásico com anéis e escovas (representação esquemática).

1.4.2 GERADOR TRIFÁSICO ELEMENTAR

Um alternador trifásico elementar é constituído por três bobinas, gerando tensões desfasadas entre si de 120° .

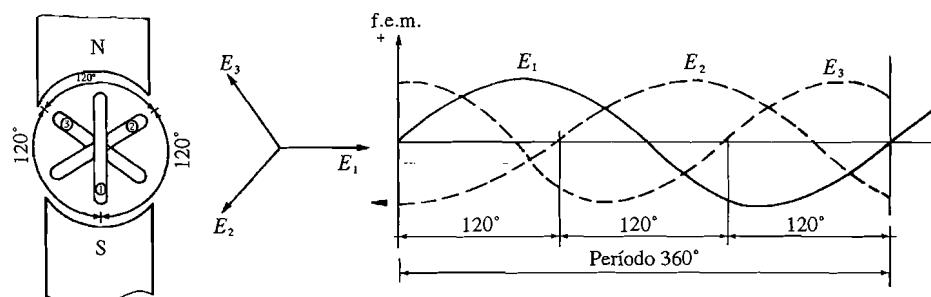


Fig. 1.14 Variação da f.e.m. em uma volta completa do sistema.

Valores eficazes. Intensidade eficaz de uma corrente alternada é definida como a quantidade de uma corrente contínua equivalente, isto é, com um valor capaz de produzir os mesmos efeitos térmicos que a primeira. Demonstra-se que ela é igual à raiz quadrada da média dos quadrados dos valores das intensidades instantâneas. Seu valor é medido com o amperímetro ou calculado por:

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{máx}}}{\sqrt{2}} = I_{\text{máx}} \times 0,707, \text{ sendo } \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \quad (1.20)$$

e

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\text{máx}}}{\sqrt{2}} = U_{\text{máx}} \times 0,707, \text{ sendo } \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \quad (1.21)$$

1.4.3 GRANDEZAS A SEREM CONSIDERADAS EM UM CIRCUITO DE CORRENTE ALTERNADA

1.4.3.1 Somente com Resistência

Numa resistência, a variação da forma de onda da corrente que a atravessa e da tensão aplicada acontece simultaneamente, significando que a tensão e a corrente estão em fase: $\varphi = 0$.

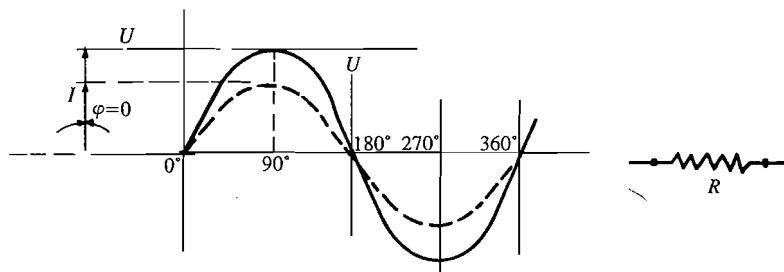


Fig. 1.15 Variação de U e I quando a carga é ôhmica (resistência pura).

1.4.3.2 Reatância Indutiva

Entende-se por *reatância indutiva* a oposição à passagem da corrente alternada em uma bobina; isto se deve ao fato de existir em uma bobina o fenômeno de auto-indução, que é a capacidade da bobina de induzir tensão em si mesma, quando a corrente varia. A reatância indutiva é representada por X_L .

Os enrolamentos dos motores e transformadores representam *cargas indutivas*, ao passo que os ferros elétricos, chuveiros, torradeiras, aquecedores e lâmpadas incandescentes representam simplesmente *cargas reativas*.

A *reatância indutiva* X_L depende da *frequência* f (hertz)* da corrente e da *indutância* L (expressa em henrys,** H).

$$X_L = 2\pi \times f \times L \quad (1.22)$$

Quando a carga de um circuito é indutiva, existe uma diferença entre a tensão e a corrente porque esta última sofre um atraso em seu deslocamento, devido ao efeito da auto-indução. Quando a resistência ôhmica é desprezível, isto é, só se considera a indutância, a defasagem entre I e U é de 90° , conforme mostra a Fig. 1.16.

*HERTZ, Heinrich Rudolf — físico alemão (1857-1894).

**HENRY, Joseph — físico norte-americano (1797-1878).

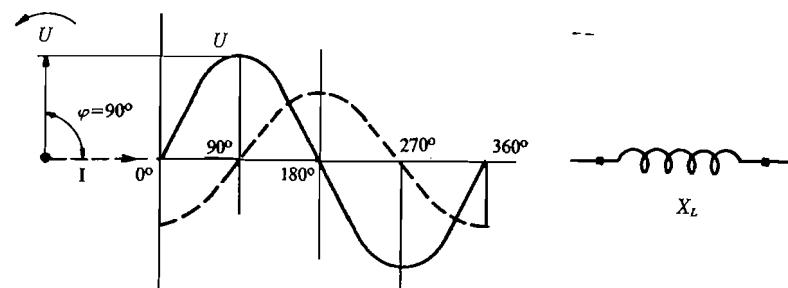


Fig. 1.16 Variação de U e I quando a carga é indutiva, apenas.

1.4.3.3 Impedância Indutiva

Quando existe uma resistência ôhmica R no mesmo circuito que uma reatância indutiva X_L , temos a impedância indutiva Z , onde

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (1.23)$$

1.4.3.4 Reatância Capacitiva

Um *capacitor* é um dispositivo elétrico que acumula eletricidade, ou seja, concentra elétrons. Os capacitores oferecem certa resistência à passagem da corrente alternada, que

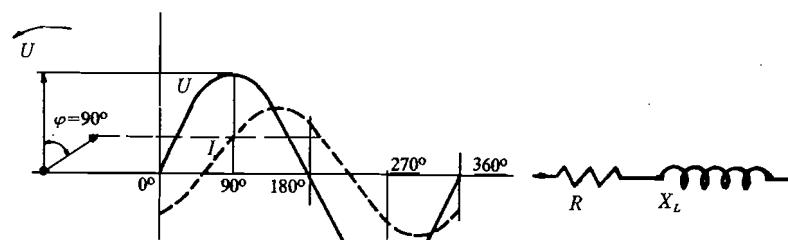


Fig. 1.17 Variação de U e I quando há R e X_L .

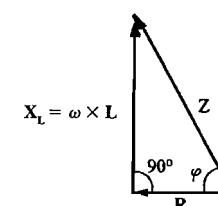


Fig. 1.18 Triângulo de impedâncias.

se denomina *reatância capacitiva* e se designa por X_c , calculada por:

$$X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (1.24)$$

sendo f a freqüência da corrente em hertz e C a capacidade em farads.*

Quando existe reatância capacitiva, a corrente se apresenta adiantada de 90° em relação à tensão: $\varphi = -90^\circ$.

Quando existe resistência ôhmica no mesmo circuito onde existe um capacitor, a impedância capacitativa é calculada por:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad (1.25)$$

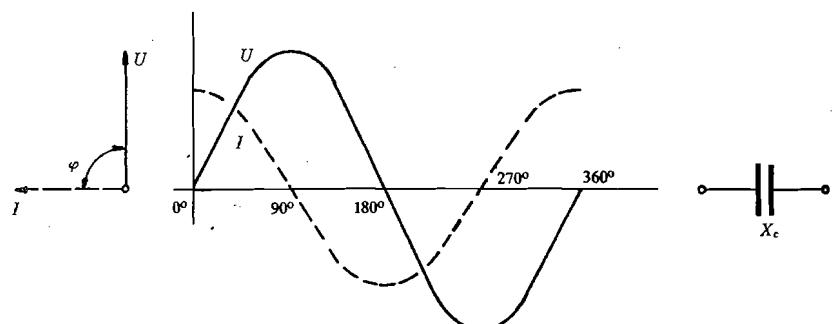


Fig. 1.19 Variação de U e I quando existir um capacitor.

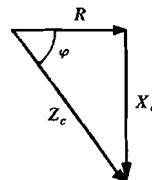


Fig. 1.20 Representação da impedância capacitativa Z_c quando há X_c e R .

1.4.3.5 Impedância

Há circuitos em que temos resistência ôhmica (R), reatância indutiva (X_L) e reatância capacitativa (X_c). Neste caso, a impedância Z será a soma vetorial destas três grandezas.

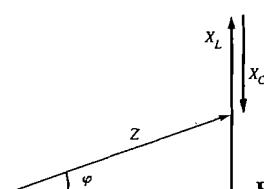


Fig. 1.21 Representação da impedância Z .

*FARADAY, Michael — físico e químico inglês (1791-1867).

1.4.4 LIGAÇÕES DOS ENROLAMENTOS DOS GERADORES TRIFÁSICOS

O alternador trifásico possui um *induzido*, dotado de três enrolamentos defasados de 120° , de modo que tudo se passa como se nele houvesse três circuitos monofásicos associados.

Quando os três enrolamentos do induzido têm um ponto de ligação comum 0 , chamado *ponto neutro*, dizemos que o alternador se acha montado ou ligado em *estrela* (ou Y). Se pelos três fios-fase A , B e C passar corrente com a mesma intensidade, isto é, se o sistema estiver equilibrado, no ponto 0 não passará corrente, donde seu nome de *ponto neutro*.

Acontece que, normalmente, poderão ocorrer correntes de intensidades diferentes nas três fases e, neste caso, usa-se um quarto condutor, ligado ao ponto 0 , e que serve como condutor de retorno da *corrente de compensação*. Este condutor é o *condutor neutro* ou simplesmente o *neutro*, como se costuma dizer. Pelo neutro não passará corrente se pelas três fases estiverem passando correntes de mesma intensidade, isto é, se estiverem equilibradas.

A Fig. 1.22 representa esquematicamente o induzido de um alternador trifásico em estrela e o esquema gráfico da rede que o alternador alimenta.

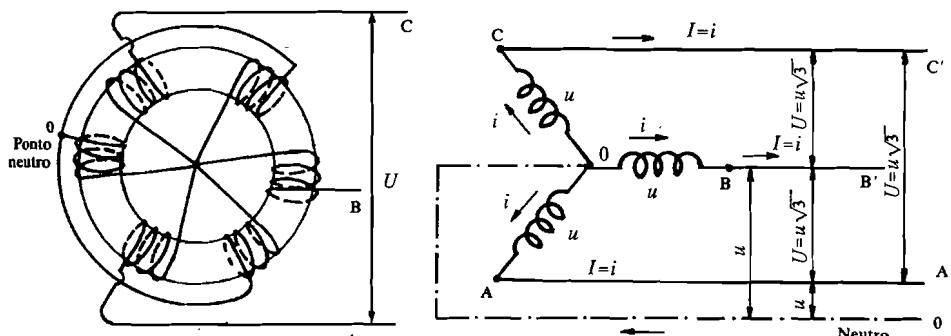


Fig. 1.22 Ligação de alternador em estrela.

Não cabendo aqui o estudo dos alternadores, diremos apenas que, se chamarmos de i a intensidade eficaz da corrente que atravessa uma bobina do induzido, e de u a tensão eficaz entre o borne da bobina e o ponto neutro, teremos uma intensidade de corrente eficaz I nos condutores da linha, tal que

$$I = i \quad (1.26)$$

e uma diferença de potencial entre os fios-fase igual a U , tal que

$$U = u \sqrt{3} \quad (1.27)$$

Quando os enrolamentos do induzido são ligados entre si, de modo a constituírem um circuito fechado, diz-se que a ligação é em *triângulo* ou *delta* (Δ). As três linhas de alimentação (fases) partem dos pontos de junção A , B e C das bobinas. Esta disposição não comporta *ponto neutro* nem *fio-neutro*.

A Fig. 1.23 representa esquematicamente o gerador e a rede, segundo a ligação em triângulo.

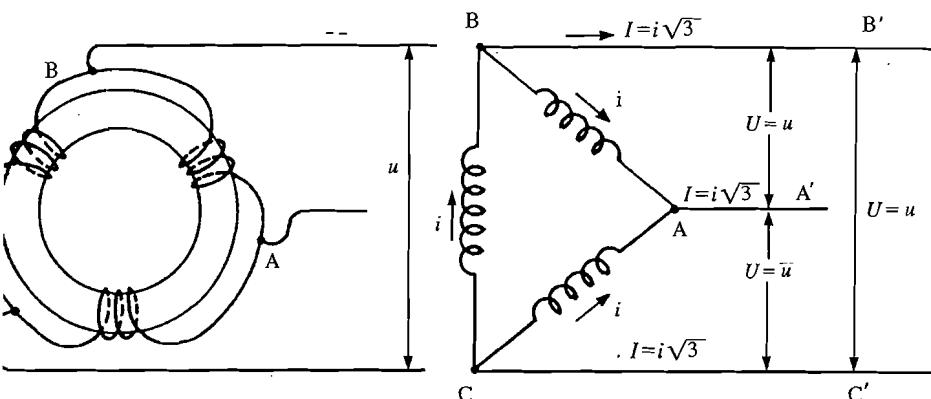


Fig. 1.23 Ligação de alternador em triângulo (delta).

Na ligação em triângulo, temos:

Tensão de linha

$$U = u \quad (1.28)$$

sendo u a tensão entre fases.

Corrente de linha

$$I = i\sqrt{3} \quad (1.29)$$

sendo i a corrente de fase.

Ligação de alternador em triângulo (delta)

A ligação em delta é raramente empregada em alternadores por causa da corrente de circulação que se estabelece no circuito ABC do induzido, quando as forças eletromotrices geradas nos três enrolamentos não se equilibram. Essa corrente não é desejável, uma vez que ela provoca efeitos de aquecimento e interferências, sobretudo onde houver circuitos.

5 POTÊNCIA FORNECIDA PELOS ALTERNADORES

1.5.1 EXPRESSÃO DA POTÊNCIA

A potência trifásica ativa, tanto para a disposição de alternador em estrela quanto em triângulo, é a mesma, e vem a ser a soma das potências das três fases. Calcula-se pela fórmula:

$$P = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \quad (1.30)$$

sendo:

U a tensão eficaz entre dois fios-fase e

I a corrente eficaz na linha.

φ é o ângulo de defasagem de I em relação a U na representação vetorial dessas grandezas.

1.5.2 FATOR DE POTÊNCIA

Num circuito de corrente alternada onde existem apenas resistências ôhmicas, a potência lida no wattímetro é igual ao produto da intensidade de corrente I (lida no amperímetro) pela diferença de potencial U (lida no voltímetro). Isto se deve ao fato de a corrente e a tensão terem o mesmo ângulo de fase ($\varphi = 0$). Quando neste circuito inserirmos uma bobina, notaremos que a potência lida no wattímetro passará a ser menor que o produto $V \times A$; isto se explica pelo fato de que a bobina causa o efeito de atrasar a corrente em relação à tensão, criando uma defasagem entre elas ($\varphi \neq 0$), como mostrado na Fig. 1.16.

A potência lida no wattímetro denomina-se *potência ativa* P e é expressa em watts (W). A potência total dada pelo produto da tensão U pela corrente I denomina-se *potência aparente* P_a e é expressa em volt-ampères (VA)

$$P_a = \sqrt{3} \times U \times I \quad (1.31)$$

De posse da potência ativa e da potência aparente, podemos definir fator de potência como sendo a relação entre estas duas potências.

$$\text{Fator de potência} = \frac{P}{P_a} = \cos \varphi \quad (1.32)$$

O fator de potência pode apresentar-se sob duas formas:

1) em circuitos puramente resistivos:

$$\cos \varphi = 1$$

2) em circuitos com indutância:

$$\cos \varphi < 1$$

Na Fig. 1.24 acha-se representado um circuito monofásico no qual o amperímetro indica $I = 10 \text{ A}$ e o voltímetro $U = 220 \text{ V}$. A potência aparente ou total é dada por $P_a = U \times I = 10 \times 220 = 2.200 \text{ volt-ampères (VA)}$, mas o wattímetro indica 1.870 watts, para a potência real ou ativa.

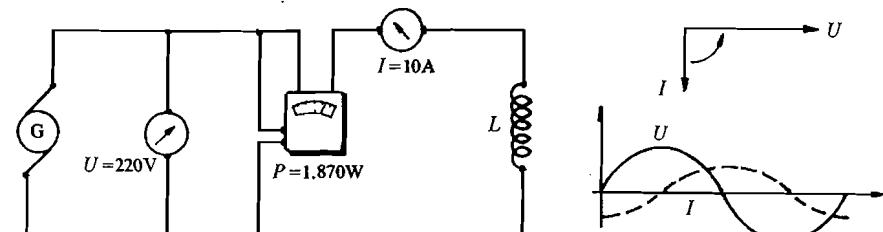


Fig. 1.24 Circuito com indutância.

O fator de potência para este circuito monofásico será:

$$\frac{\text{Potência ativa}}{\text{Potência total}} = \frac{W}{VA} = \frac{1.870}{2.200} = 0,85 \text{ ou } 85\%$$

isto é, $\cos \varphi = 0,85$. Logo, o ângulo de defasagem de I em relação a U será de 32° .

Vemos que, quando o fator de potência é inferior à unidade, existe um consumo de energia não-medida no wattímetro, consumo aplicado na produção da indução magnética. Uma instalação com baixo fator de potência, para produzir uma potência ativa P , requer uma potência aparente P_a maior, o que onera essa instalação com o custo mais elevado de cabos e equipamentos.

A parte da potência consumida pelos efeitos de indução é denominada *potência reativa*, e demonstra-se que esta potência, somada vetorialmente com a potência ativa (em watts), fornece o produto volt-ampère (VA, kVA).

A potência reativa é medida em VA_r.

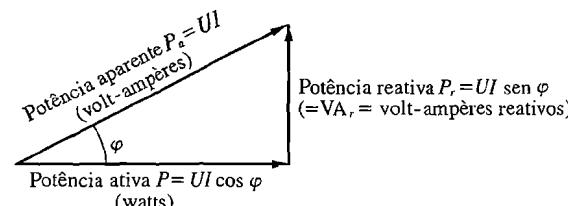


Fig. 1.25 Potência a considerar quando há indutância.

Pela Fig. 1.25 temos:

$$P_r = \sqrt{P_a^2 - P^2} \quad (1.33)$$

Devido ao inconveniente causado por um baixo fator de potência, as empresas concessionárias de energia elétrica exigem um fator de potência igual ou maior do que 0,92. Essa obrigatoriedade segue as determinações do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica — DNAEE em sua Portaria n.º 1569-1993. O não-cumprimento desse limite sujeita o consumidor ao pagamento de um ajuste pelo baixo fator de potência.

Todas as instalações de lâmpadas ou tubos de iluminação a vapor de mercúrio, neônio, fluorescente, ultravioleta, cujo fator de potência seja inferior a 0,90, deverão ser providas dos dispositivos de correção necessários para que seja atingido o fator de potência de 0,90, no mínimo, valor este obtido junto ao medidor da instalação.

Nos casos de instalações com baixo fator de potência, consegue-se corrigi-las (elevá-lo) intercalando-se um *capacitor* em um circuito com indutância, pois o capacitor faz com que a corrente avance em relação à tensão, e este efeito “anula” o efeito da indutância (ver Fig. 1.19). Um outro recurso também muito usado para melhoria do fator de potência em instalações industriais é o uso de motores síncronos superexcitados, que têm a propriedade de fornecer a componente natural ou deswattada da potência.

Tabela 1.1

Valores do Fator de Potência ($\cos \varphi$)	$\cos \varphi$
Aparelhos de iluminação incandescente	1,00
Aparelhos com lâmpadas fluorescentes	0,90
De alto fator de potência	0,50
De baixo fator de potência	0,50
Motores elétricos trifásicos, de gaiola	
até 600 W	0,50
de 1 a 4 cv	0,75
de 5 a 50 cv	0,85
de mais de 50 cv	0,90

Para um desenvolvimento maior do assunto, leia o Cap. 9 — Correção do Fator de Potência.

1.5.3 RENDIMENTO

Entende-se por rendimento de uma máquina elétrica a razão entre sua potência de saída e sua potência de entrada.

$$\eta = \frac{P_s}{P_{ent}} \quad (1.34)$$

Por esta expressão notamos que num bom aproveitamento de potência pela máquina teremos o rendimento próximo de 1.

■ Exemplo 1.10

A potência de um motor elétrico, trifásico, alimentado em 220 V, medida com um wattímetro, é de 18,5 cv. O fator de potência é 0,85. Calcular a corrente de alimentação do motor, as potências aparente e reativa e o rendimento.

$$1 \text{ cv} = 736 \text{ W}$$

Dados:

$$\begin{aligned} P &= 18,5 \text{ cv} = 18,5 \times 736 = 13.616 \text{ W} \\ U &= 220 \text{ V} \\ \cos \varphi &= 0,85 \end{aligned}$$

Solução

1) Intensidade da corrente

Da equação 1.30, tiramos:

$$I = \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{13.616}{220 \sqrt{3} \times 0,85} = 42,04 \text{ A}$$

2) Potência aparente

Da equação 1.31, tem-se que:

$$P_a = 220 \times 42,04 \times \sqrt{3} = 16.019,4 \text{ VA} \approx 16 \text{ kVA}$$

3) Potência reativa

Da equação 1.33 tiramos:

$$P_r = \sqrt{16.019^2 - 13.616^2} = 8.439 \text{ kVA}_r$$

4) Rendimento:

Pela equação 1.34 calculamos η :

$$\eta = \frac{13.616}{16.019} = 0,85$$

1.6 LIGAÇÃO DOS APARELHOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os circuitos dos receptores de energia elétrica de corrente alternada trifásica, do mesmo modo que os dos alternadores ou dos transformadores, podem ser ligados em triângulo ou em estrela. Vejamos os dois casos.

1.º Caso. Ligação dos receptores em triângulo (delta).

Consideremos a Fig. 1.26, onde se acha representada uma ligação de lâmpadas em triângulo. A corrente que passa em cada lâmpada é dada por $i = \frac{I}{\sqrt{3}}$, sendo I a corrente em cada fase, A, B ou C.

A tensão entre os terminais das lâmpadas é a mesma que a existente entre as fases da rede (não levando em conta a queda de tensão).

A potência P' consumida em cada uma das lâmpadas é $P' = U \times i$, e a potência total P consumida nas três lâmpadas é:

$$P = U \times I \times \sqrt{3}$$

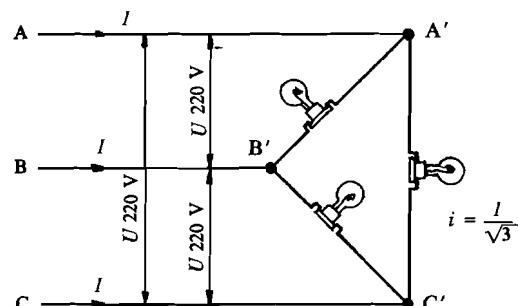


Fig. 1.26 Ligação de lâmpadas em triângulo.

2.º Caso. Ligação dos aparelhos em estrela.

A Fig. 1.27 indica três lâmpadas (ou aparelhos) ligadas em estrela, com fio-neutro. A tensão u que existe entre os parafusos ou bornes de cada receptor é igual à que existe entre um fio-fase e o neutro aos quais se acha ligado, e é dada por $\frac{U}{\sqrt{3}}$, sendo U a tensão entre as fases da rede.

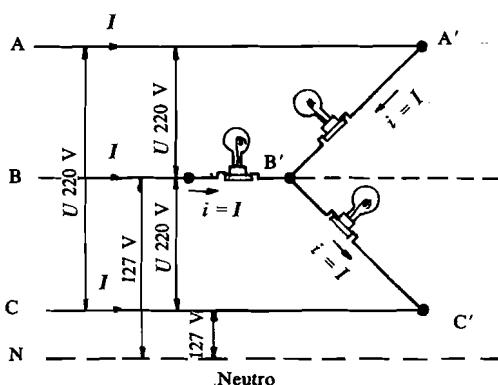


Fig. 1.27 Ligação de aparelho (no caso, lâmpadas) entre fases e o ponto neutro.

Na prática, para iluminação, o que se verifica quase sempre é a distribuição em estrela com fio-neutro. No item 4.7.4. será mostrado como e quando deverá ser aterrado o neutro.

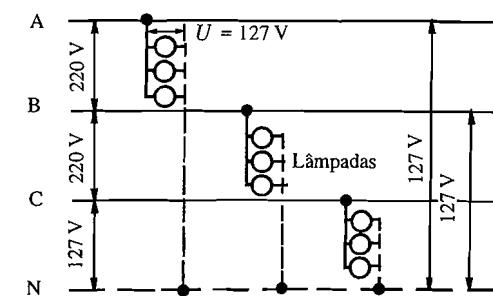


Fig. 1.28 Diagrama de ligação de aparelhos entre fase e neutro. As lâmpadas acham-se ligadas em paralelo, havendo, entre os parafusos do receptáculo de cada uma, a tensão de 127 V.

1.7 EMPREGO DE TRANSFORMADORES

1.7.1 CONCEITO DE TRANSFORMADOR

Demonstra-se que, para uma mesma potência, a tensão elétrica em um condutor é inversamente proporcional à área da seção transversal deste condutor. Isto quer dizer que, para uma mesma potência a transmitir, quanto maior a tensão, menor precisará ser a seção do condutor, e, portanto, menor será seu custo. Assim, se a potência for transmitida sob uma tensão de 6.000 V, os condutores terão seção transversal muito menor do que se a tensão for de 220 V, havendo, pois, na primeira hipótese, economia de material.

Suponhamos uma potência de 100 kW a ser transmitida, sendo 0,85 o fator de potência.

Se projetarmos a transmissão de energia sob 6.000 V, a corrente no condutor será:

$$I = \frac{P}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi} = \frac{100.000}{6.000 \sqrt{3} \times 0,85} = 11,3 \text{ A}$$

Transmitida sob 220 V, a corrente será de 308,7 A.

Para se elevar a tensão de modo a transmitir a corrente com economia nas linhas de transmissão e depois baixar a tensão, para que a energia possa ser utilizada com segurança nos edifícios ou aparelhos, emprega-se o chamado *transformador*.

O *transformador* é o dispositivo que realiza a transformação de uma corrente alternada, sob uma tensão, para outra corrente alternada, sob uma nova tensão, sem praticamente alterar o valor da potência. O tipo mais comumente empregado é o *transformador estático*. Consta essencialmente de um núcleo de chapas de aço-silício MM em torno do qual são enroladas duas bobinas fixas, B_1 e B_2 , conforme a Fig. 1.11. A bobina B_1 tem n_1 espiras e acha-se ligada aos pólos do alternador A. Essa bobina constitui o *indutor* ou *pri-mário* do transformador, e a corrente alternada que o atravessa engendra no circuito magnético MM um fluxo de indução alternativo.

A segunda bobina B_2 possui n_2 espiras e acha-se ligada à rede de distribuição interna; tem o nome de *induzido* ou *secundário* do transformador, e a corrente que passa por suas espiras é gerada pela indução a que se acham submetidas.

Denomina-se *relação de transformação* de um transformador a relação entre a tensão nos bornes do primário e a existente nos bornes do secundário. A relação de transformação é a mesma que a existente entre os números das espiras e inversa à relação entre as correntes que por elas passam:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1.35)$$

Nos casos mais comuns, a energia é fornecida pelas concessionárias aos prédios em baixa tensão (220/127 V) ou (380/220 V). Entretanto, em indústrias e prédios de grande potência, pode vir a ser necessário o suprimento em média tensão, devendo ser construída uma estação abaixadora de tensão pelo consumidor.

Os transformadores podem ser monofásicos ou trifásicos.

1.7.2 LIGAÇÃO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

Um transformador trifásico é, em síntese, um agrupamento de três transformadores monofásicos cujos circuitos elétricos (enrolamentos) são distintos e independentes mas têm em comum o núcleo de ferro-silício.

Em função do sistema de distribuição adotado e das tensões a serem transformadas, os três enrolamentos monofásicos que constituem a unidade trifásica podem ser ligados de várias maneiras, duas das quais, em especial, merecem referência:

- a) ligação em triângulo ou delta;
- b) ligação em estrela.

1.7.2.1 Ligação em Triângulo

É muito empregada pela economia de material condutor utilizado na fabricação dos transformadores. De fato, se chamarmos de i a corrente nas espiras do secundário, a corrente I nas linhas de distribuição será notavelmente maior, porque:

$$I = i\sqrt{3} \quad (1.36)$$

Acha-se representado na Fig. 1.29 um esquema de ligação $\Delta\Delta$ (triângulo-triângulo), isto é, primário e secundário ligados em triângulo.

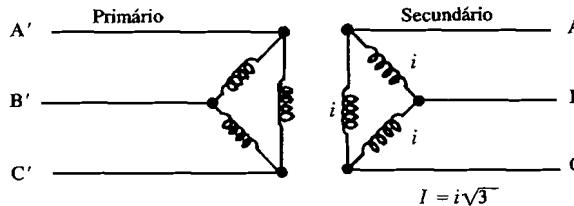


Fig. 1.29 Ligação de transformador em $\Delta\Delta$.

1.7.2.2 Ligação de Transformador com Secundário em Estrela

É muito empregada quando se deseja que o secundário tenha tensões muito elevadas, a fim de diminuir a tensão em cada transformador, nas suas respectivas bobinas, e, por conseguinte, facilitar e baratear seu isolamento e construção.

Representemos, na Fig. 1.30, uma instalação de transformador para elevar 5.000 V a 55.000 V, usando um transformador com primário em triângulo e secundário em estrela.

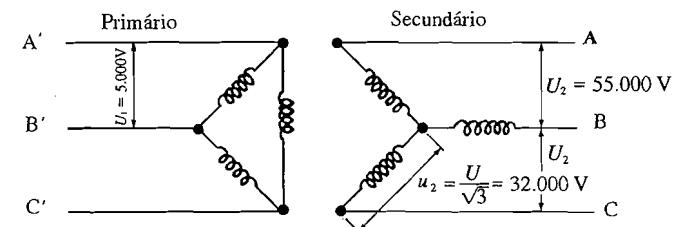


Fig. 1.30 Ligação de transformador em ΔY .

Entre fase e neutro do transformador, a tensão não será mais de 55.000 V. Será, apenas, de

$$u_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{55.000}{1,73} \approx 32.000 \text{ V}$$

o que conduz a um isolamento de menor custo nas espiras.

Nas redes de distribuição para iluminação, o secundário, em baixa tensão, exigindo a distribuição com três fases e neutro, obriga o emprego de transformador com secundário em estrela.

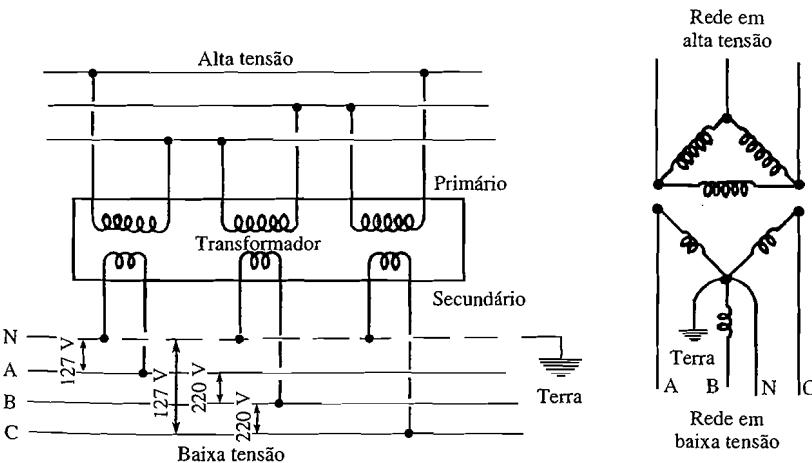
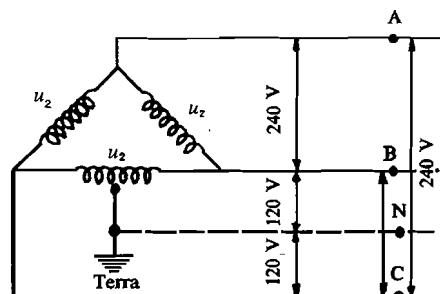


Fig. 1.31 Ligação de transformador em ΔY utilizada para distribuição de iluminação em 220/127 V ou 380/220 V.

Em alguns casos, é necessário prever uma alimentação em baixa tensão com o secundário do transformador em Δ , havendo um condutor *neutro* que sai do *tap central* de uma das bobinas.

Fig. 1.32 Secundário em Δ com neutro.

Na Fig. 1.33 acha-se representada uma rede de distribuição típica, como descrito acima.

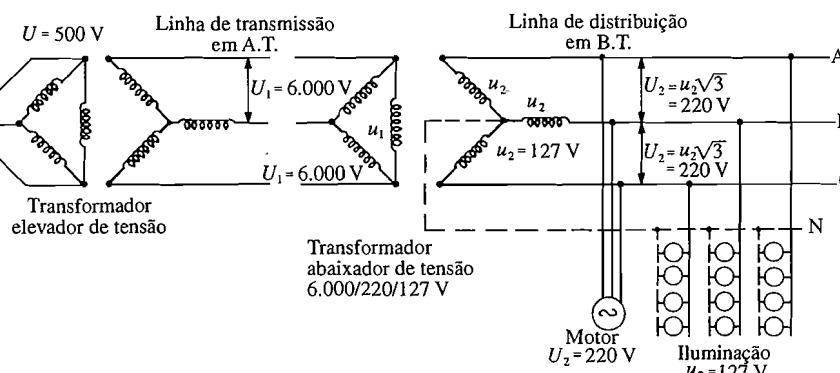


Fig. 1.33 Rede de distribuição usual nas instalações elétricas de edificações.

2

Fornecimento de Energia aos Prédios. Alimentadores Gerais.

Ocorreram profundas modificações no sistema elétrico brasileiro. A privatização das empresas de eletricidade, a criação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), bem como a edição da Portaria n.º 466, de 12 de novembro de 1997, do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica — DNAEE, foram responsáveis pelas inovações que descrevemos a seguir. A Norma Brasileira de Baixa Tensão NBR 5410, Revisão de 1997, e a Norma Brasileira de Alta Tensão (de 1,0 kV a 36,2 kV) NBR 14.039, março de 1998, também influenciam o sistema elétrico de nosso país. À medida que se desenvolvem os assuntos seguintes deste livro, apresentaremos as interferências dos documentos citados, especialmente nos capítulos:

N.º do Capítulo	Título
3	Instalações para Iluminação e Aparelhos Domésticos.
4	Condutores Elétricos. Dimensionamento e Instalação.
5	Comando, Controle e Proteção dos Circuitos.
6	Instalação para Motores.
7	Correção do Fator de Potência.
13	Subestações Abaixadoras de Tensão.

Este Capítulo 2, Fornecimento de Energia ao Prédios. Alimentadores Gerais, também foi revisto, como veremos.

2.1 PRIVATIZAÇÕES

As principais concessionárias de energia elétrica de São Paulo (Eletropaulo, CESP e CPFL), Rio de Janeiro (Light e CERJ), Espírito Santo (Escelsa), foram privatizadas.

De julho de 1995 a abril de 1998, o governo brasileiro transferiu do controle público para as empresas privadas dezessete distribuidoras de energia elétrica.

Privatizações do Setor Elétrico		
Empresa	Data	Composição Acionária
Escelsa — Espírito Santo Centrais Elétricas S.A.	12/07/95	Iven S.A., GTD Partic., Eletrobrás, Funcionários, Estados do ES, Prefeituras, Banco Pactual, Outros
Light — Serviços de Eletricidade S.A.	21/05/96	Electricité de France (França), Houston Industries Energy (EUA), AES Corporation (EUA), Eletrobrás, BNDESpar, Funcionários, CSN, Outros
Cerj — Cia. de Eletricidade do Estado do Rio de Janeiro	20/11/96	Chiletra (Chile), EDP (Eletricidade de Portugal), Endesa Desarrollo (Espanha), Outros
Coelba — Cia. de Eletricidade do Estado da Bahia	31/07/97	Banco do Brasil, Iberdrola (Espanha), BB-DTVM, Previ
Cachoeira Dourada	05/09/97	Endesa Desarrollo (Espanha), Edgel (Peru), Fundos de Investimentos
Cia. Norte-Nordeste de Distribuição de Energia Elétrica (RS)	21/10/97	AES Corporation (EUA)
Cia. Centro-Oeste de Distribuição de Energia Elétrica (RS)	21/10/97	AES Corporation (EUA)
CPFL — Cia. Paulista de Força e Luz	05/11/97	VBC Energia (Votorantim, Bradesco e Camargo Corrêa), Previ, Community Alternative (EUA)
Enersul — Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S.A.	19/11/97	Consórcio Magistra Participações (liderado pela Escelsa)
Cemac — Centrais Elétricas Matogrossenses S.A.	27/11/97	Rede/Inepar
Energipe — Empresa Energética de Sergipe S.A.	03/12/97	Cataguases-Leopoldina
Cosern — Cia. Energética do Rio Grande do Norte	12/12/97	Consórcio Coelba/Iberdrola (Espanha)
Coelce — Cia. Energética do Ceará	02/04/98	Cerj
Metropolitana — Eletricidade de São Paulo S.A.*	15/04/98	Light
Celpa — Centrais Elétricas do Pará	09/07/98	Rede/Inepar
Elektro — Eletricidade e Serviços S.A.**	16/07/98	Enron International

* Empresa de distribuição da Eletropaulo que atende à Grande São Paulo.

** Subsidiária da Cesp (Companhia Energética de São Paulo) que assumiu o setor de distribuição desta empresa.

2.2 O QUE MUDA COM A PORTARIA N.º 466

A Portaria n.º 466, em vigor desde 1.º de janeiro de 1998, regulamenta as relações entre consumidores e concessionárias. O DNAEE — Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, foi extinto em 2 de dezembro de 1997 com a criação da ANEEL — Agência Nacional de Energia Elétrica, que assumiu suas funções para fortalecer o Estado regulador e fixar “as condições gerais de fornecimento de energia elétrica”. A ANEEL, apoiada também no Código de Defesa do Consumidor, já está fiscalizando as empresas concessionárias privatizadas, em suas atividades de distribuição e comercialização da eletricidade no país.

2.2.1 PRINCIPAIS DEFINIÇÕES DA PORTARIA N.º 466

- a) Tensão de fornecimento — consumidor e concessionária podem ajustar a tensão de fornecimento;
- b) Subestação compartilhada — dois ou mais consumidores podem construir uma única subestação;
- c) Conservação de energia — quando o consumidor tiver ganhos no uso da energia elétrica (eficiência e conservação), a concessionária é obrigada a renegociar o contrato de demanda e consumo.

2.2.2 LIMITES DE FORNECIMENTO

O concessionário deve estabelecer informar ao interessado a tensão de fornecimento para a unidade consumidora, observando os seguintes limites:

I — tensão secundária de distribuição — (Grupo B), quando a carga instalada for igual ou inferior a 50 kW. A Light — Serviços de Eletricidade S.A. admite até 75 kW.

II — tensão primária de distribuição — (Grupo A), quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 50 kW (75 kW para a Light) e a demanda de potência quando o fornecimento for igual ou inferior a 2.500 kW.

Observação: Grupos A e B referem-se a classes de tarifa.

2.2.3 PONTO DE ENTREGA DA ENERGIA (PE).

Será a conexão do sistema do concessionário com as instalações do consumidor, devendo situar-se no limite da via pública com o imóvel em que se localiza a unidade consumidora. Em área servida através de rede aérea, havendo interesse do consumidor em ser atendido por ramal subterrâneo, o ponto de entrega (PE) será situado na conexão deste ramal com a rede aérea. Havendo conveniência técnica, o ponto de entrega (PE) poderá situar-se dentro do imóvel em que se localizar a unidade consumidora. Do mesmo modo, o ponto de entrega poderá situar-se ou não no local onde forem instalados os equipamentos de medição.

2.2.4 RESPONSABILIDADES

O concessionário é responsável pela prestação de serviço adequado a todos os consumidores quanto à regularidade, generalidade, continuidade, modicidade das tarifas e cortesia na prestação do serviço e de informações para a defesa de interesses individuais e coletivos. O consumidor é responsável pela adequação técnica e segurança das instalações internas situadas além do ponto de entrega (PE).

2.3 MODALIDADES DE LIGAÇÕES

As principais concessionárias de energia elétrica situadas em São Paulo (Eletropaulo, CESP e CPFL), Minas Gerais (Cemig) e Rio de Janeiro (Light) trabalham em conjunto para uniformizar os critérios de fornecimento para os usuários em tensão secundária.

Assim, possuímos hoje os seguintes regulamentos:

- 1) CESP, Eletropaulo, CPFL — Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária a Edificações Individuais, editado em 1989.
- 2) Cemig — Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária, editado em 1993.
- 3) Light — Regulamentação para Suprimentos de Consumidores — Baixa Tensão (RECON/BT) editado em 1987.

Para desenvolver este capítulo, utilizamos o manual da Light em sua edição mais recente. As ligações da instalação predial à rede de distribuição da concessionária se classificam em:

2.3.1 PROVISÓRIAS

O concessionário poderá considerar, como fornecimento provisório, o que se destina ao atendimento de eventos temporários como: festividades, circos, parques de diversões, exposições, obras ou similares. É o que acontece com as ligações de *força provisória* para o funcionamento das máquinas para construção, durante a fase de execução das obras de um edifício.

2.3.2 DEFINITIVAS

Quando se destinam a instalações de caráter permanente. Podem-se também classificar as modalidades de alimentação predial de energia em:

Normal. Quando a energia é fornecida de maneira permanente à instalação. No caso mais geral, o suprimento de energia é feito pela concessionária. Não existindo rede pública, a energia é gerada no próprio estabelecimento (em geral, industrial). O fornecimento pode ser uma combinação destes dois tipos.

De segurança e substituição. É proporcionada por fontes independentes da alimentação normal. É o caso do suprimento para bombas de incêndio, iluminação de emergência, detectores de fumaça, alarme contra roubos, salas de operação em hospitais etc.

Relativamente à tensão sob a qual a energia é fornecida ao consumidor, as alimentações se dividem em:

Alimentação em baixa tensão. No Brasil, as redes de distribuição das companhias distribuidoras de energia operam com as seguintes tensões:

- 220 V/127 V — neutro aterrado, sendo 127 V para iluminação e 220 V para motores. A Light admite também suprimento em 230/115 V em aplicações exclusivas para fornecimento a consumidores rurais.
- 380 V/220 V — neutro aterrado, sendo normalmente 220 V para iluminação e 380 V para motores. Exemplos: prédios com grandes densidades de carga, atividades comerciais e shoppings.

As tensões acima mencionadas aplicam-se a ligações individuais de baixa tensão com cargas de iluminação e tomadas até 75 kW.

Em zonas de distribuição subterrânea da Light supridas por sistema reticulado (Network), não há limite de carga instalada para fornecimento em baixa tensão. Portanto, nesse tipo de configuração, o fornecimento a entradas coletivas residenciais e/ou comerciais é efetuado sempre em baixa tensão, independendo do valor da carga instalada.

Alimentação em alta tensão. Segundo as características e a capacidade da rede da concessionária, bem como da carga demandada, o suprimento tem sido realizado nas tensões de 13.800 V, 34.500 V, com ligação Δ no primário, Y no secundário do transformador e neutro acessível. O assunto está desenvolvido no Cap. 13.

Caso as extensões das linhas em baixa tensão, dentro dos limites do terreno do consumidor, sejam longas ou as cargas consideráveis, poderá vir a ser necessária uma ou mais subestações intermediárias, dentro dos limites do terreno particular, localizadas em geral nos “centros de gravidade” das cargas. A Fig. 2.1 mostra, esquematicamente e simplificadamente, uma alimentação em alta tensão, com uma subestação abaixadora nos terrenos do consumidor. Não foi representado o equipamento de medição da energia.

Vemos, na Fig. 2.2, o diagrama unifilar de uma alimentação em alta tensão, com uma subestação primária e quatro subestações secundárias, para distribuição em baixa tensão, e na Fig. 2.3, em outras representações. Esta modalidade, que tem sido usada em fábricas, há muito tempo, vem sendo empregada em prédios de grande porte, com

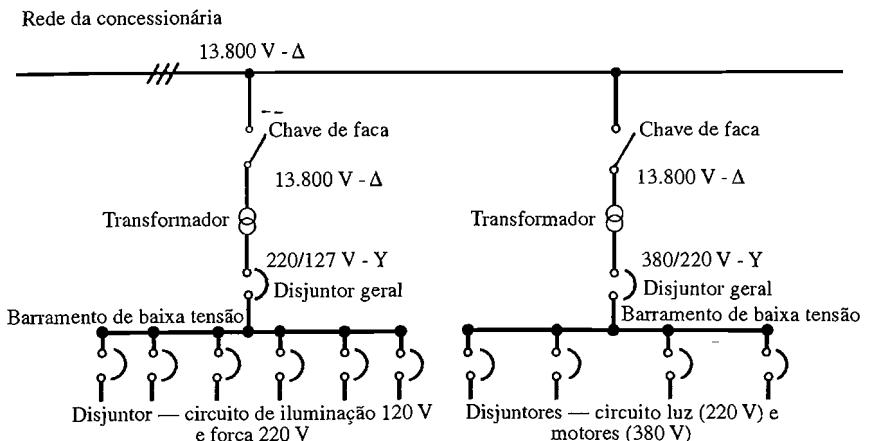


Fig. 2.1 Alimentação em A.T. (alta tensão)

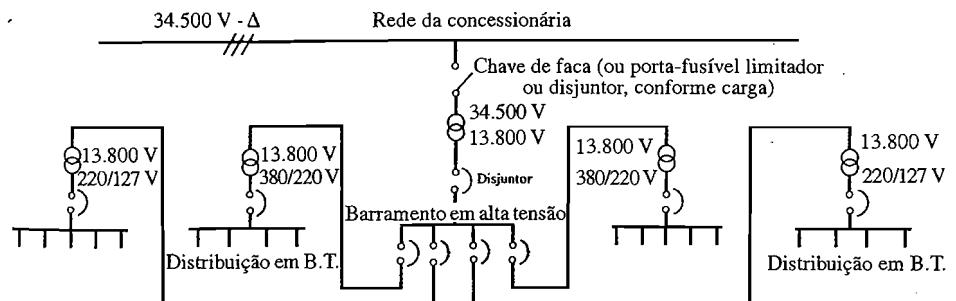


Fig. 2.2 Alimentação em A.T. com uma S.E. primária e quatro secundárias

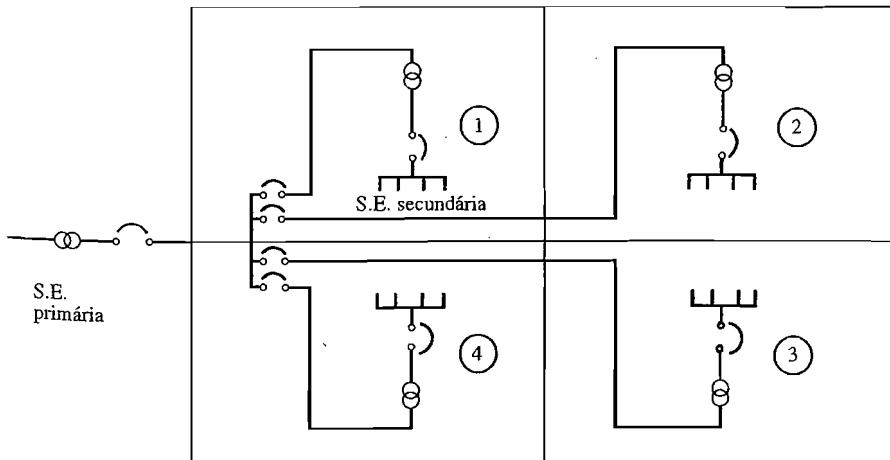


Fig. 2.3 Arquitetura unifilar de sistema de fornecimento composto de quatro subestações instaladas nos centros de carga

cargas consideráveis, a fim de reduzir o custo da instalação, pela economia na seção dos condutores, que, para qualquer carga, é tanto menor quanto maior a tensão da rede interna de distribuição. O projetista deverá, inicialmente, consultar a concessionária de fornecimento de energia, pois as tensões no primário variam de região para região do país.

2.4 RAMAIS

A ligação de uma instalação à rede de distribuição de energia é feita por um *ramal de ligação*. Este é constituído de duas partes:

Ramal externo. É o trecho compreendido entre a rede de distribuição e o limite da propriedade particular com a via pública.

Ramal interno. É o trecho situado na propriedade particular, desde o limite da via pública até o equipamento de medição.

Existem três modalidades de ramais de ligação em baixa tensão:

- Ramal de ligação aéreo*, no qual a parte externa, aérea, é ligada à rede aérea da concessionária.
- Ramal de ligação subterrâneo*, cuja parte externa, subterrânea, é ligada à rede subterrânea da concessionária.
- Ramal de entrada subterrâneo* com rede aérea da concessionária.

Em qualquer dos casos referidos, o ramal interno poderá ser aéreo ou subterrâneo, conforme a conveniência do consumidor, que leva em consideração o aspecto estético da fachada e a entrada do prédio e por razões econômicas do custo da ligação quando houver.

O Regulamento para Suprimento de Energia, da Light, apresenta algumas definições que alteram a conceituação acima e que convém sejam conhecidas por aqueles que projetarem em área servida por esta concessionária.

a) Entrada de serviço

É o conjunto de equipamentos, condutores e acessórios instalados entre o *ponto de derivação* da rede da concessionária e a medição ou proteção, inclusive. Nada tem a ver com o que se costuma chamar de "entrada de serviço" de um prédio, para diferenciá-la da "entrada social". Divide-se em *ramal de ligação* e *ramal de entrada*.

b) Ponto de entrega (PE)

É o ponto até o qual a concessionária se obriga a fornecer energia elétrica, participando dos investimentos necessários e responsabilizando-se pela execução dos serviços, pela operação e manutenção, não sendo necessariamente o ponto de medição.

c) Ramal de ligação (RL)

É o conjunto de condutores e acessórios instalados entre o *ponto de derivação* da concessionária e o *ponto de entrega*.

d) Ramal de entrada (RE)

É o conjunto de equipamentos condutores e acessórios instalados entre o ponto de entrega e a medição ou proteção, inclusive.

e) Entrada individual

É todo ramal de entrada com a finalidade de suprir uma edificação com uma única unidade consumidora (consumidor único com medição individualizada).

f) Entrada coletiva

É todo ramal de entrada com a finalidade de suprir uma edificação com mais de uma unidade consumidora e com área de serventia comum.

As Figs. 2.4 a 2.9 apresentam as diversas modalidades de ligação, achando-se nelas indicados os trechos das ligações acima citadas.

A Regulamentação para Suprimento de Consumidores, da Light, contém grande número de desenhos e detalhes úteis ao projetista.

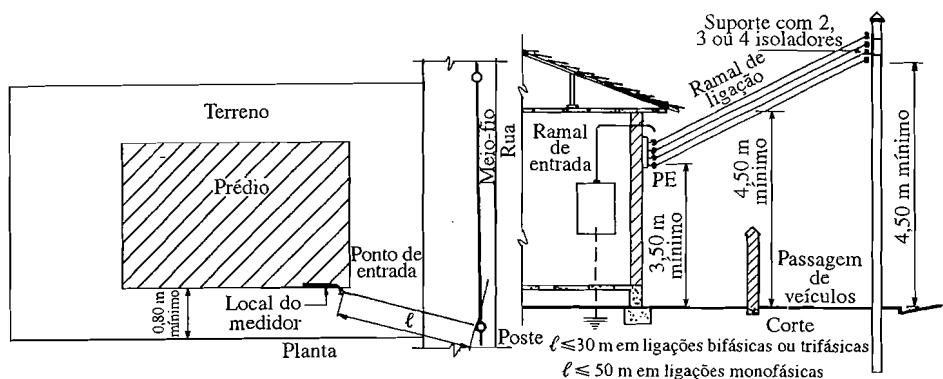


Fig. 2.4 Ramal aéro com poste no passeio em frente ao prédio (Cortesia Manual RSC Light.)

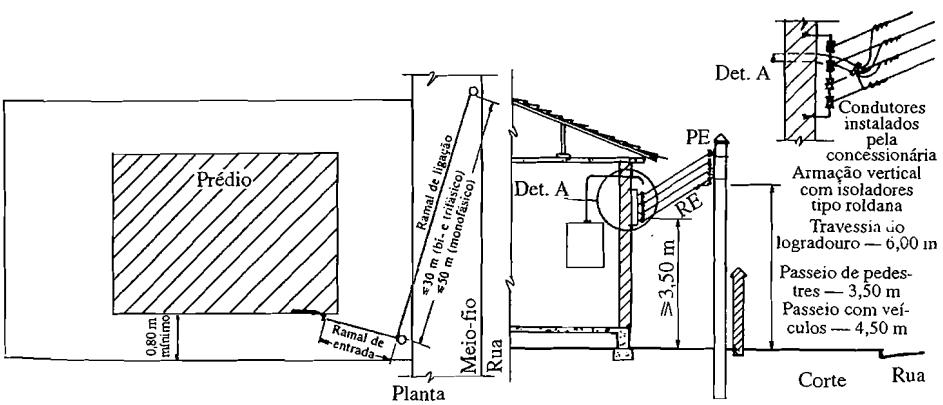


Fig. 2.5 Ramal aéro com poste no interior da propriedade e poste da concessionária na mesma calçada (Cortesia Manual RSC Light.)

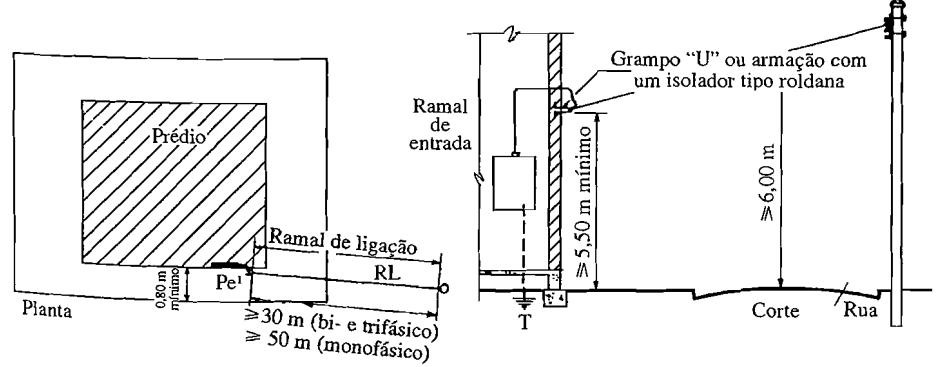


Fig. 2.6 Ramal aéro com poste na calçada oposta à propriedade (Cortesia Manual RSC Light.)

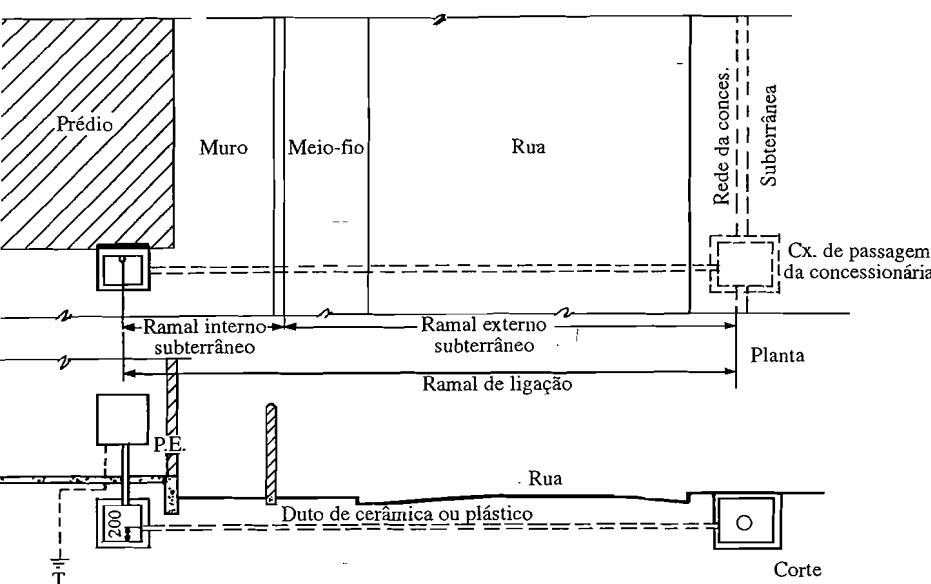


Fig. 2.7 Ramal de ligação subterrânea (dimensões em mm) (Cortesia Manual RSC Light.)

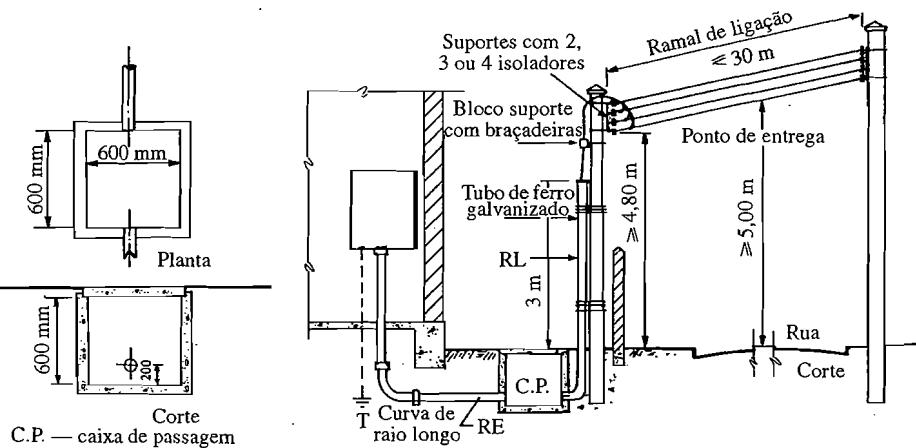


Fig. 2.8 Entrada aérea e ramal interno subterrâneo, com caixa de passagem (Cortesia Manual RSC Light.)

Nota: As cotas indicadas variam conforme as normas das concessionárias, que devem portanto ser previamente consultadas.

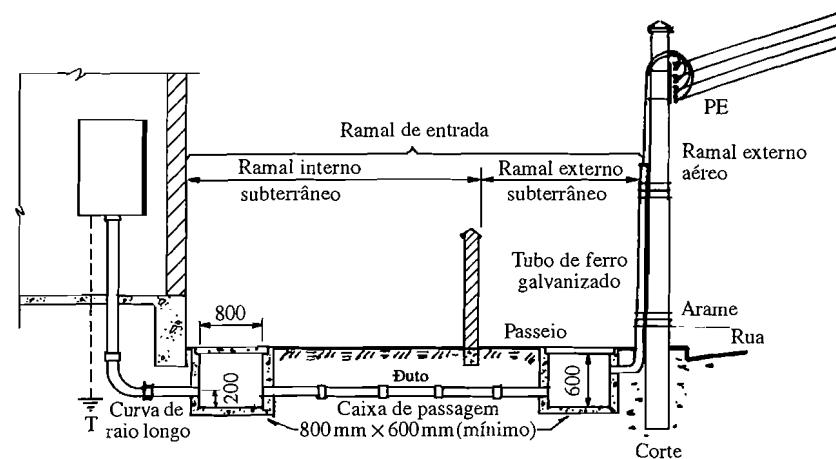


Fig. 2.9 Ramal de ligação mista(dimensões em mm) (Cortesia Manual RSC Light.)

2.5 LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ENERGIA

Embora cada concessionária tenha seu próprio esquema administrativo para aprovar uma ligação provisória de força para obras, em geral é exigido um ofício ou carta, acompanhado de uma planta de situação do terreno. Nesta planta serão definidas a área projetada do prédio a ser construído e a indicação dos motores, com suas características elétricas e as máquinas que eles irão acionar. Deve ser marcado o local considerado como o mais adequado para a instalação de caixa ou armário para dispositivos de proteção, medidores e chaves.

2.6 LIGAÇÃO DEFINITIVA DE ENERGIA

Repetindo que cada concessionária possui suas próprias normas, indicaremos algumas prescrições adotadas pela Light — Serviços de Eletricidade S/A — Região Rio. Atualmente, só se executa um ramal único de ligação, para servir tanto à iluminação e pequenos aparelhos quanto à chamada “força para os motores”.

2.6.1 NÚMERO DE FASES DO RAMAL, CONFORME A CARGA

Carga instalada é o somatório das potências nominais de todos os equipamentos elétricos e dos pontos de luz instalados na unidade consumidora. Como nem toda a carga instalada é consumida simultaneamente, havendo uma diversificação por tipo de utilização, considera-se uma *demandas máximas* com base em hipóteses de probabilidade de utilização simultânea das diversas cargas.

São três os tipos de atendimento do fornecimento de energia conforme o número de fases, e que usualmente são designados por:

- **Monofásico:** uma fase e neutro (dois fios) — é usado medidor monofásico (até 4.400 W).
- **Bifásico:** duas fases e neutro (três fios) — pode ser usado para dois medidores monofásicos ou um único bifásico.

- **Trifásico:** três fases e neutro (quatro fios) — para três medidores monofásicos ou um monofásico e um bifásico, para um único trifásico, ou ainda, para mais de dois consumidores.

Nos casos de suprimento a 380/220 V, é exigida a instalação de um FIO TERRA independente.

2.6.2 ESQUEMAS BÁSICOS UNIFILARES DAS PRINCIPAIS MODALIDADES DE LIGAÇÃO

Representaremos, apenas, os esquemas, sem os detalhes construtivos que são fornecidos pela concessionária em manuais próprios.

2.6.2.1 Ligação Aérea

O fusível da concessionária fica na rede externa

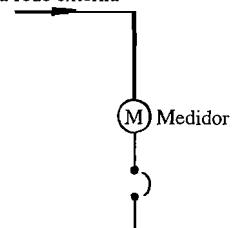


Fig. 2.10 Ligação aérea até 100 A

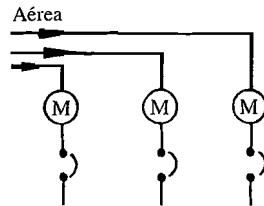


Fig. 2.10a Ligação aérea até três medidores monofásicos, ou um mono e dois bifásicos

Para ligação aérea, deve ser usada *caixa terminal* quando a carga exigir disjuntor > 100 A ou fusível NH > 63 A.

2.6.2.2 Ligação Subterrânea

Deve existir uma caixa terminal (T) que contenha, quando necessário, fusíveis para proteção do ramal.

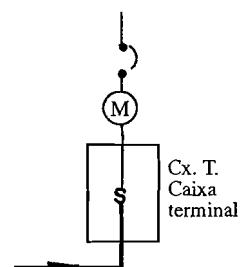


Fig. 2.11 Entrada subterrânea até 100 A

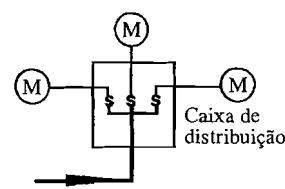


Fig. 2.11a Ligação subterrânea para três medidores

2.6.2.3 Ligação Aérea ou Subterrânea --

Entrada aérea

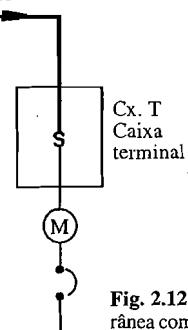


Fig. 2.12 Entrada aérea ou subterrânea com caixa terminal (no exemplo, entrada aérea)

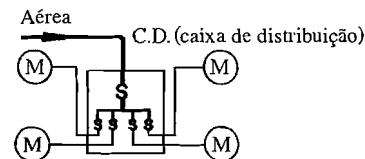


Fig. 2.12a Ligação aérea ou subterrânea para quatro medidores

2.6.2.4 Emprego de Transformadores de Corrente

Quando a carga é grande, usa-se uma *caixa TR*, isto é, com transformadores de corrente, uma vez que pelo medidor não pode passar corrente de grande intensidade. Trata-se da *caixa de transformadores de corrente*.

A concessionária fixa o valor da carga a partir da qual a TR deve ser usada.

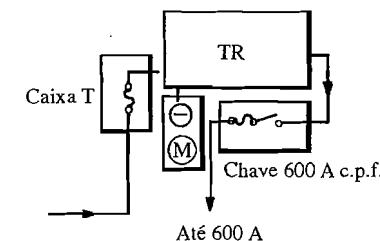
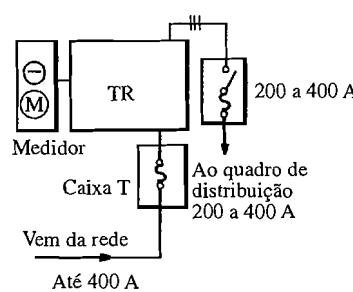


Fig. 2.13 Entrada subterrânea, com caixa T (terminais), caixa TR (de transformadores de corrente) e medidor

2.6.2.5 Caixa de Distribuição

Com vários consumidores independentes no prédio, há necessidade de utilizar um medidor para cada consumidor. A fim de distribuir a energia em circuitos, a partir de um barramento até cada um dos medidores, emprega-se uma *caixa de distribuição (D)*. Nesta caixa de distribuição é colocado, em certos casos, um bloco geral com fusíveis, a partir do qual saem os barramentos das três fases. O neutro não passa pelo fusível. A Fig. 2.14 esquematiza uma ligação com caixa de distribuição, contendo fusíveis gerais e barramentos, alimentando diversos medidores.

Quando o número de consumidores é grande, também é grande a quantidade de medidores, e em substituição à *caixa de distribuição* usa-se um *gabinete de distribuição*, que vem a ser um armário com quadro de barramentos para ligação dos terminais dos circuitos dos diversos consumidores.

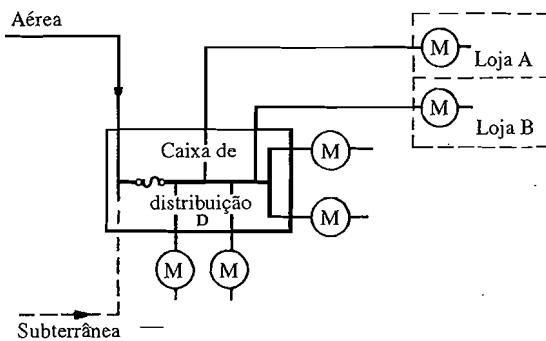


Fig. 2.14 Caixa de distribuição alimentando seis medidores.

A caixa de distribuição e os equipamentos de medição e proteção são colocados no *centro de medição* (ver subitem 14.3.3.2).

2.6.2.6 Caixa Seccionaldora

Quando a caixa de distribuição ficar situada a mais de 5 metros do acesso (principal ou de serviço) de um edifício, é necessário colocar-se uma *caixa seccionaldora*, distante, no máximo, 5 metros da entrada do prédio. Tem por objetivo proteger o ramal, desligando o fornecimento de energia em casos de emergência, como seria o de um incêndio. A caixa seccionaldora contém fusíveis ou barras, facilmente removíveis, na eventualidade de ser necessária a interrupção no fornecimento da corrente elétrica ao prédio. Da caixa seccionaldora, o cabo (ou os cabos) vai para a caixa (Fig. 2.15) ou as caixas (Fig. 2.16) de distribuição, localizada (ou localizadas) no térreo, no subsolo ou em vários pavimentos. Mais detalhes serão vistos no subitem 14.3.3.3.

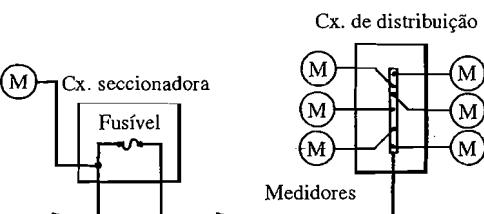


Fig. 2.15 Entrada com caixa seccionaldora e caixa de distribuição

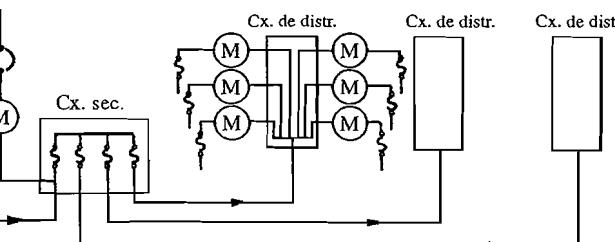


Fig. 2.16 Entrada com caixa seccionaldora e três caixas de distribuição

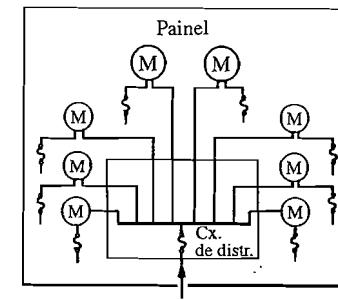
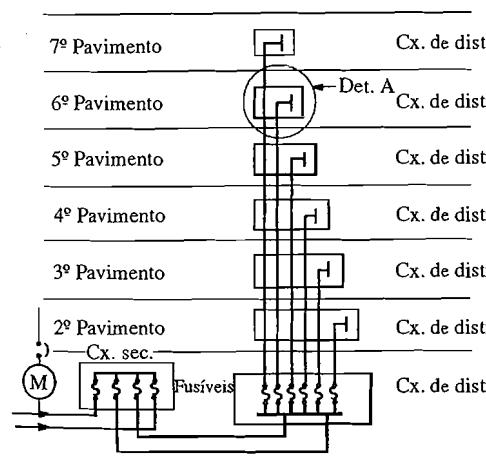
2.6.3 MEDAÇÃO DE ENERGIA EM PRÉDIO COM MAIS DE CINCO PAVIMENTOS

É permitida a instalação do equipamento de medição, por pavimento, em qualquer dos seguintes casos:

- Desde que haja sete ou mais equipamentos de medição por pavimento, agrupando-os em um só ponto.
- Desde que, agrupando os equipamentos de dois ou mais pavimentos em um só ponto, seja atendido o mínimo de sete unidades. As caixas dos pavimentos se denominam *caixas de distribuição subsidiárias*.

2.6.4 MEDAÇÃO DA ENERGIA EM LOJAS

É permitida a instalação de medidores nas lojas, ligados à caixa de distribuição geral do prédio e colocados o mais próximo possível da entrada e nunca em vitrines (Fig. 2.14). (Ver subitem 14.3.4.7.)



Painel com medidores e caixa de distribuição em um pavimento. Detalhe A

Fig. 2.17 Entrada com caixa seccionaldora e caixa de distribuição no pavimento

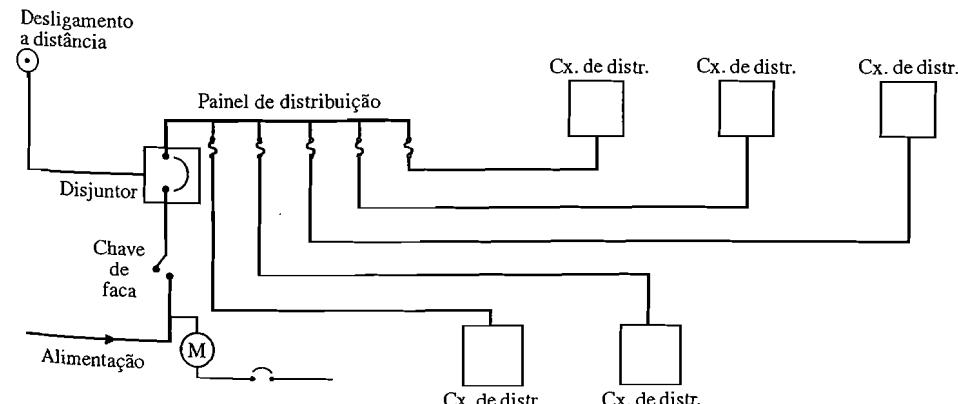


Fig. 2.18 Painel de distribuição comandado a distância. Representação esquemática unifilar

3

Instalações para Iluminação e Aparelhos Domésticos

3.1 NORMA QUE REGE AS INSTALAÇÕES EM BAIXA TENSÃO

A norma fundamental sobre a qual este capítulo se baseia é a Norma Brasileira NBR 5410/1997 da ABNT, nova designação da NB-3, da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

3.2 ELEMENTOS COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Para que se possa elaborar um projeto de instalações elétricas, é necessário que fiquem caracterizados e identificados os elementos ou partes que compõem o mesmo. É o que será feito a seguir.

3.2.1 DEFINIÇÕES

Ponto. É o termo empregado para designar *aparelhos fixos* de consumo, centros de luz, tomadas de corrente, arandelas, interruptores, botões de campainha. Um centro de luz com seu respectivo interruptor constituem *dois pontos*.

Ponto útil ou ponto ativo. É o dispositivo onde a corrente elétrica é realmente utilizada ou produz efeito ativo (ex.: receptáculo onde é colocada uma lâmpada ou uma tomada na qual se liga um aparelho eletrodoméstico).

Ponto de comando. É o dispositivo por meio do qual se governa um ponto ativo. É constituído por um interruptor de alavanca, botões, disjuntor ou chave.

Os principais *pontos ativos* são os seguintes:

a) **PONTO SIMPLES.** Corresponde a um aparelho fixo (ex.: um chuveiro elétrico). Constituído também por uma só lâmpada ou um grupo de lâmpadas funcionando em conjunto, em um lustre, por exemplo.

b) **PONTO DE DUAS SEÇÕES.** Quando constituídas por duas lâmpadas ou dois grupos de lâmpadas que funcionam por etapas, ligadas independentemente uma da outra.

c) **TOMADA SIMPLES.** Quando nela se pode ligar somente um aparelho. Em geral, são de 15 A — 220/127 V.

Existem tomadas para uso industrial, de 30 A — 440 V.

d) **TOMADA DUPLA.** Quando nela podem ser ligados simultaneamente dois aparelhos.

e) **TOMADA COMBINADA.** Quando, embora reunida numa só caixa, pode servir a finalidades diversas (corrente ou TV — antena e terra). Para isso, possui fendas adequadas a pinos de formatos diferentes.

f) **TOMADA COM TERRA.** Quando a tomada de corrente tem uma ligação auxiliar para aterrimento (o potencial da terra é zero em relação às pessoas), de modo a evitar os efeitos do choque elétrico.

Os *pontos de comandos* podem ser constituídos por:

a) **INTERRUPTOR SIMPLES OU UNIPOLAR.** Acende ou apaga uma só lâmpada ou um grupo de lâmpadas funcionando em conjunto. Em geral são de 10 A e 220 V.

O *dimmer* ou variador de tensão é um regulador de tensão intercalado entre um circuito alimentador de tensão constante e um circuito receptor, para variar gradualmente a tensão aplicada a este. Permite, por exemplo, variar a luminosidade de uma ou várias lâmpadas incandescentes, utilizando a variação de tensão. Existem dois tipos: variador rotativo simples e variador deslizante simples.

b) **INTERRUPTOR DE DUAS SEÇÕES.** Acende ou apaga separadamente duas lâmpadas ou dois conjuntos de lâmpadas funcionando em conjunto.

c) **INTERRUPTOR DE TRÊS SEÇÕES.** Acende ou apaga separadamente três lâmpadas ou três conjuntos de lâmpadas funcionando em conjunto.

d) **INTERRUPTOR PARALELO (THREE-WAY).** Aquela que, operando com outro da mesma espécie, acende ou apaga, de pontos diferentes, o mesmo ponto útil (10 A — 220 V). Emprega-se em corredores, escadas ou salas grandes.

e) **INTERRUPTOR INTERMEDIÁRIO (FOUR-WAY).** É um interruptor, colocado entre interruptores paralelos, que acende ou apaga, de qualquer ponto, o mesmo ponto ativo, formado por uma lâmpada ou grupo de lâmpadas. É usado na iluminação de halls, corredores e escadas de um prédio.

Com relação a disjuntores e chaves elétricas, trataremos oportunamente do assunto no capítulo sobre proteção e controle de circuitos.

Os interruptores e tomadas de embutir são guarneados por *placas* ou *espelhos*.

3.2.2 FIAÇÃO

No traçado do projeto de instalações, é necessária a marcação dos fios contidos na tubulação, para determinar-se o diâmetro da mesma e para orientar o trabalho da futura enfiado.

Para tanto, é necessário conhecerem-se os esquemas de ligação e a denominação dos fios, segundo a função que desempenham.

Definimos primeiramente os condutores que transportam a energia dos pontos de comando aos de utilização.

Os *condutores de alimentação* podem ser divididos em:

- **Condutores de circuitos terminais,** que saem do *quadro terminal de chaves* de um apartamento ou andar, por exemplo, e alimentam os pontos de luz, as tomadas e os aparelhos fixos.

- **Condutores de circuitos de distribuição,** que ligam o barramento ou chaves do quadro de distribuição geral ao quadro terminal localizado no apartamento, no andar de escritórios ou no quadro de serviço.

- **Condutores de circuitos de distribuição principal,** que ligam a chave geral do prédio ao quadro geral de distribuição ou ao medidor.

Os *condutores de alimentação* que constituem os circuitos terminais classificam-se em:

a) **FIOS DIRETOS.** São os dois condutores (fase e neutro) que, desde a chave de circuito no quadro terminal de distribuição, não são interrompidos, embora forneçam derivações ao longo de sua extensão.

O *fio neutro* vai, sem exceção, diretamente a todos os pontos ativos.

O *fio fase* vai diretamente apenas às tomadas e pontos de luz que não dependem de comando, aos interruptores simples e a somente um dos interruptores paralelos, quando há comando composto (caso dos *three-way* e *four-way*, cuja fiação será ilustrada mais adiante nas Figs. 3.11 a 3.15).

b) **FIO DE RETORNO.** É o condutor-fase que, depois de passar por um interruptor ou jogo de interruptores, “retorna”, ou melhor, “vai” ao ponto de luz.

c) **FIOS ALTERNATIVOS.** São os condutores que existem apenas nos comandos compostos e permitem, alternativamente, a passagem da corrente ou a ligação de um interruptor paralelo (*three-way*) com outro interruptor intermediário (*four-way*).

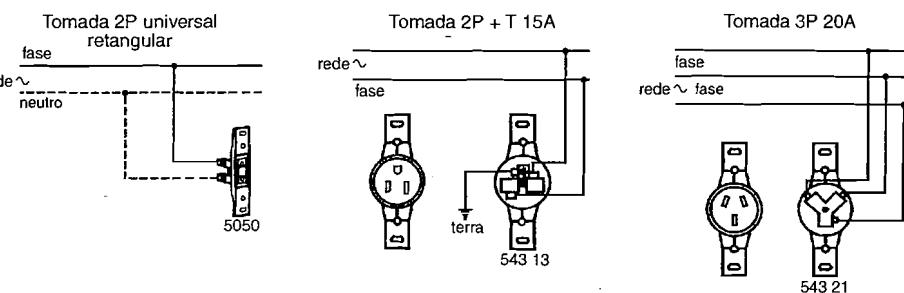
esquemas de ligação

Fig. 3.1A Tomadas, fabricação Pial Legrand

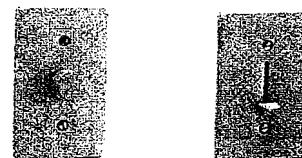


Fig. 3.1B Dimmers, fabricação Pial Legrand

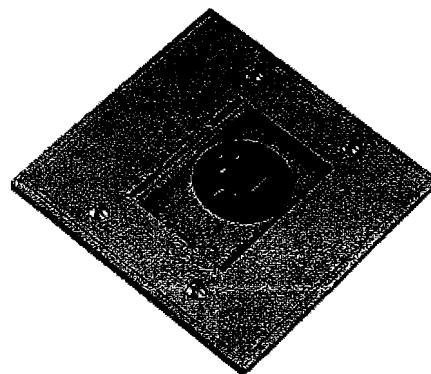


Fig. 3.1C Tomada com pino terra, fabricação Pial Legrand

CIRCUITOS ELÉTRICOS

O conjunto dos condutores de alimentação, referidos nos itens anteriores, com suas ramificações, constitui um *círculo elétrico terminal*. O circuito terminal alimenta, portanto, diretamente os pontos de utilização, os equipamentos e as tomadas de corrente. Um *círculo de distribuição* alimenta um ou mais quadros de distribuição, partindo do quadro geral (Fig. 3.1D). Os circuitos terminais partem dos quadros de distribuição de-

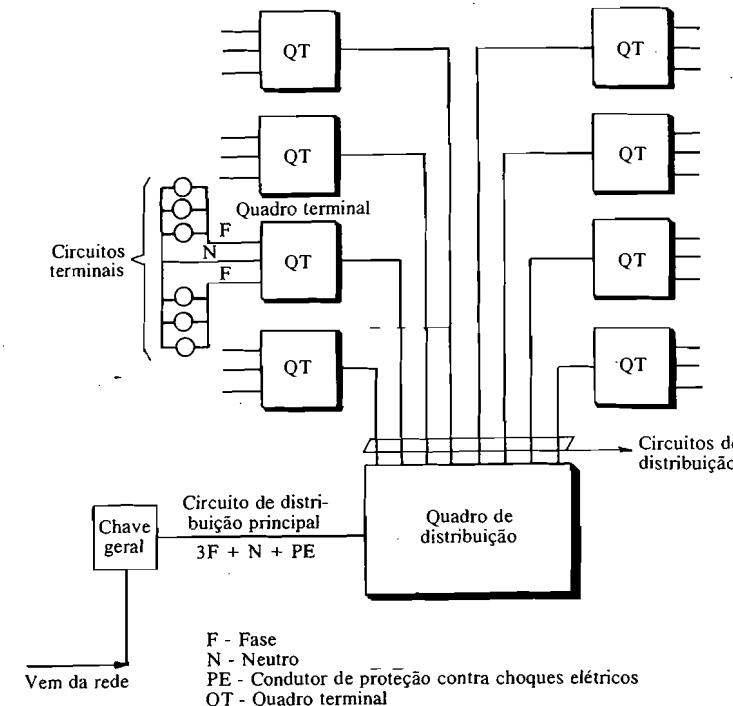


Fig. 3.1D Diagrama básico de instalação de um edifício residencial ou comercial

signados por *quadros terminais*. Os circuitos de distribuição dividem-se em “alimentador principal” e “subalimentador”, quando há quadros intermediários.

3.3 SÍMBOLOS E CONVENÇÕES

Na elaboração de projetos de instalações elétricas, empregam-se símbolos gráficos para a representação dos “pontos” e demais elementos que constituem os circuitos elétricos. São apresentados a seguir os símbolos mais usuais, com a representação consagrada pela maioria dos projetistas de instalações elétricas prediais. O leitor encontrará na ABNT normas relacionadas com a simbologia em instalações elétricas, entre as quais:

NBR-5446/80 — Símbolos gráficos de relacionamento usados na confecção de esquemas.

NBR-5444/86 — Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais.

NBR-5453/77 — Sinais e símbolos para eletricidade.

3.4 ESQUEMAS FUNDAMENTAIS DE LIGAÇÕES

Os esquemas apresentados a seguir representam trechos constitutivos de um circuito de iluminação e tomadas, e poderiam ser designados como “subcircuitos” ou circuitos

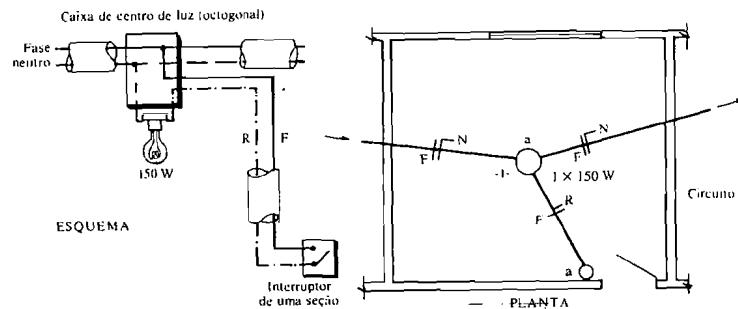


Fig. 3.2 Ponto de luz e interruptor de uma seção

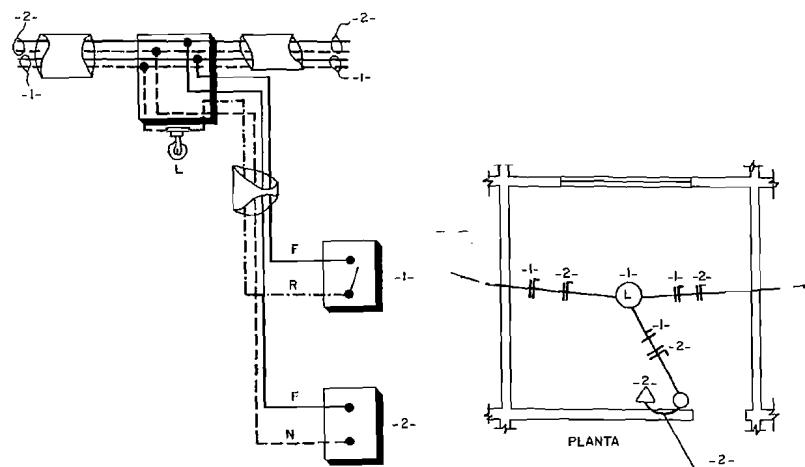


Fig. 3.3 Ponto de luz, interruptor de uma seção e tomada de 300 VA a 30 cm do piso. Circuito 1. Ver item 3.8. Observar a existência de circuitos separados para iluminação e tomadas

parciais. O condutor-neutro é sempre ligado ao receptáculo de uma lâmpada e à tomada. O condutor-fase alimenta o interruptor e a tomada. O *condutor de retorno* liga o interruptor ao receptáculo da lâmpada.

3.4.1 PONTO DE LUZ E INTERRUPTOR SIMPLES, ISTO É, DE UMA SEÇÃO

Ao interruptor, vai o fio fase *F* e volta à caixa do ponto de luz.

Ao voltar, passa a chamar-se retorno, designado por *R*.

3.4.2 PONTO DE LUZ, INTERRUPTOR DE UMA SEÇÃO E TOMADA

À tomada vão os fios *F* e *N*, mas ao interruptor, apenas o fio *F*.

Tabela 3.1 Símbolos e convenções para projetos de instalações elétricas

A. Dutos e distribuição

Símbolo	Significado	Observações
	Eletroduto embutido no teto ou parede. Diâmetro 25 mm	Todas as dimensões em mm. Indicar a bitola se não for 15 mm
	Eletroduto embutido no piso. Diâmetro 25 mm	
	Tubulação para telefone	
	Tubulação para informática (teleprocessamento de dados, por exemplo)	
	Tubulação para campainha, som, anunciador ou outro sistema (TV a cabo, antena coletiva)	Indicar na legenda o sistema passante
	Condutor de fase no interior do eletroduto (F)	Cada traço representa um condutor. Indicar bitola, número de condutores, número do circuito e a bitola dos condutores, exceto se forem de 1,5 mm ²
	Condutor neutro no interior do eletroduto (N)	
	Condutor de retorno no interior do eletroduto (R)	
	Condutor terra no interior do eletroduto (T ou PE)	
	Cordoalha de terra	Indicar a bitola utilizada; 50· significa 50 mm ²
	Leito de cabos com um circuito passante, composto de três fases, cada uma com dois cabos de 25 mm ² e neutro com dois cabos de 10 mm ²	25· significa 25 mm ² 10· significa 10 mm ²
	Caixa de passagem no piso	Dimensões em mm
	Caixa de passagem no teto	Dimensões em mm
	Caixa de passagem na parede	Indicar altura e se necessário fazer detalhe (dimensões em mm)

Tabela 3.1 (cont.) Símbolos e convenções para projetos de instalações elétricas

A. Dutos e distribuição

Símbolo	Significado	Observações
	Circuito que sobe	
	Circuito que desce	
	Circuito que passa descendo	
	Circuito que passa subindo	
	Sistema de calha de piso	No desenho aparecem quatro sistemas que são habitualmente: I — Luz e força II — Telefone III — Informática, dados IV — Especiais (TV a cabo, antena coletiva)
	Condutor bitola 1,0 mm ² , fase ou neutro para campainha	Se for bitola maior, indicá-la
	Condutor bitola 1,0 mm ² , retorno para campainha	

B. Quadros de distribuição

Símbolo	Significado	Observações
	Quadro terminal de luz e força, aparente	
	Quadro terminal de luz e força, embutido	Indicar as cargas de luz em watts e de força em HP ou cv
	Quadro geral de luz e força, aparente	
	Quadro geral de luz e força, embutido	
	Caixa de telefones	

Tabela 3.1 (cont.) Símbolos e convenções para projetos de instalações elétricas

C. Interruptores

Símbolo oficial	ACEI-TÁVEL	Significado	Observações
	S	Interruptor de uma seção	A letra minúscula indica o ponto comandado
a	S ₂	Interruptor de duas seções	As letras minúsculas indicam os pontos comandados
a	S ₃	Interruptor de três seções	As letras minúsculas indicam os pontos comandados
	S _{3W}	Interruptor paralelo ou <i>three-way</i>	A letra minúscula indica o ponto comandado
	S _{4W}	Interruptor intermediário ou <i>four-way</i>	A letra minúscula indica o ponto comandado
	M	Botão de minutaria	
		Botão de campainha na parede (ou comando a distância)	
		Botão de campainha no piso (ou comando a distância)	
		Fusível	Indicar tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora com fusíveis. Abertura sem carga	Indicar tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora com fusíveis e abertura, em carga	Indicar tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora. Abertura sem carga	Indicar tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora. Abertura em carga	Indicar tensão, corrente e potências nominais
		Disjuntor a óleo	Indicar tensão, corrente e potências nominais
		Disjuntor a seco	Indicar tensão, corrente e potências nominais

Tabela 3.1 (cont.) Símbolos e convenções para projetos de instalações elétricas

D. Luminárias, refletores e lâmpadas

Símbolo	Significado	Observações
a -4 2 x 100W	Ponto de luz incandescente no teto. Indicar o n.º de lâmpadas e a potência em watts	A letra minúscula indica o ponto de comando, e n.º entre dois traços, o circ. corresp.
a -4 2 x 60W	Ponto de luz incandescente na parede (arandela)	Deve-se indicar a altura da arandela
a -4 2 x 100W	Ponto de luz incandescente no teto (embutido)	
a -4 4 x 20W	Ponto de luz fluorescente no teto (indicar o n.º de lâmpadas e na legenda o tipo de partida e o reator)	A letra minúscula indica o ponto de comando, e o número entre dois traços, o circ. corresp.
a -4 4 x 20W	Ponto de luz fluorescente na parede	Deve-se indicar a altura da luminária
a -4 4 x 20W	Ponto de luz fluorescente no teto (embutido)	
a	Ponto de luz incandescente no teto em circuito vigia (emergência)	
a	Ponto de luz fluorescente no teto em circuito vigia (emergência)	
a	Sinalização de tráfego (rampas, entradas etc.)	
a	Lâmpada de sinalização	
a	Refletor	Indicar potência, tensão e tipo de lâmpadas
a	Poste com duas luminárias para iluminação externa	Indicar as potências, tipo de lâmpadas
a	Lâmpada obstáculo	
M	Minutaria	

Tabela 3.1 (cont.) Símbolos e convenções para projetos de instalações elétricas

E. Tomadas

Símbolo	Significado	Observações
a 300VA	Tomada de luz na parede, baixa (300 mm do piso acabado)	
a 300VA	Tomada de luz a meia altura (1.300 mm do piso acabado)	
a 300VA	Tomada de luz alta (2.000 mm do piso acabado)	
a	Tomada de luz no piso	
a	Antena para rádio e televisão	
a	Relógio elétrico no teto	
a	Relógio elétrico na parede	
a	Saída de som no teto	
a	Saída de som na parede	Indicar a altura <i>h</i>
ou ou	Cigarra	
ou ou	Campainha	
ou ou	Quadro anunciador	Dentro do círculo, indicar o número de chamada em algarismos romanos

F. Motores e transformadores

Símbolo	Significado	Observações
G	Gerador	Indicar as características nominais
M	Motor	Indicar as características nominais
a	Transformador de potência	Indicar a relação de espiras e valores nominais
a	Transformador de corrente (um núcleo)	Indicar a relação de espiras, classe de exatidão e nível de isolamento. A barra de primário deve ter um traço mais grosso
a	Transformador de potencial	
a	Transformador de corrente (dois núcleos)	

3.4.3 PONTO DE LUZ NO TETO, ARANDELAS E INTERRUPTOR DE DUAS SEÇÕES

Às vezes é usado em banheiros, ficando a arandela sobre o espelho, acima do lavatório.

3.4.4 DOIS PONTOS DE LUZ COMANDADOS POR UM INTERRUPTOR SIMPLES

Usa-se quando, por exemplo, a sala tem comprimento grande.

3.4.5 DOIS PONTOS DE LUZ COMANDADOS POR UM INTERRUPTOR DE DUAS SEÇÕES

É solução preferível à do item 3.4.4.

3.4.6 DOIS PONTOS DE LUZ COMANDADOS POR UM INTERRUPTOR DE DUAS SEÇÕES, ALÉM DE UMA TOMADA

É caso comum, pois aproveita-se a descida do condutor até o interruptor para prolongá-lo à tomada.

3.4.7 LIGAÇÃO DE UMA LÂMPADA COM INTERRUPTOR DE UMA SEÇÃO COM ALIMENTAÇÃO PELO INTERRUPTOR

Essa alimentação pode vir por eletroduto na parede ou passando pelo piso.

3.4.8 LIGAÇÃO DE DUAS LÂMPADAS E INTERRUPTOR DE DUAS SEÇÕES

(Alimentação pelo interruptor.)

3.4.9 LIGAÇÃO DE DUAS LÂMPADAS POR DOIS INTERRUPTORES DE UMA SEÇÃO

Em pontos distintos, com alimentação por um interruptor. Ver Fig. 3.10.

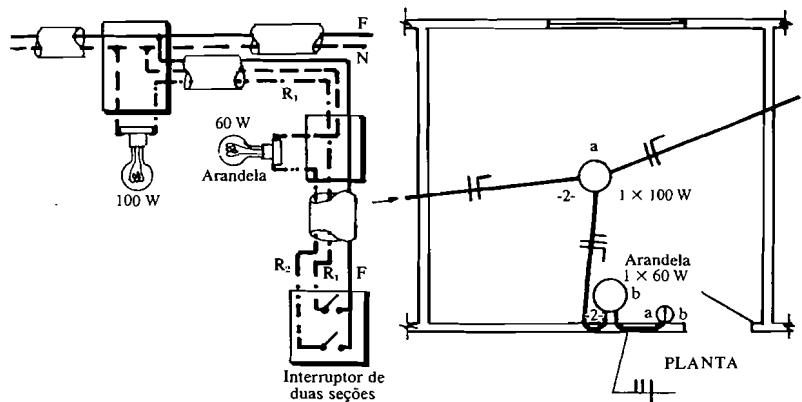


Fig. 3.4 Ponto de luz no teto, arandela e interruptor de duas seções. Circuito 2

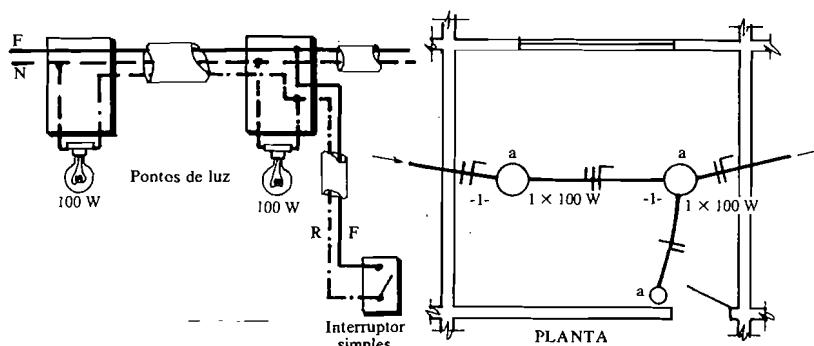


Fig. 3.5 Dois pontos de luz comandados por um interruptor simples

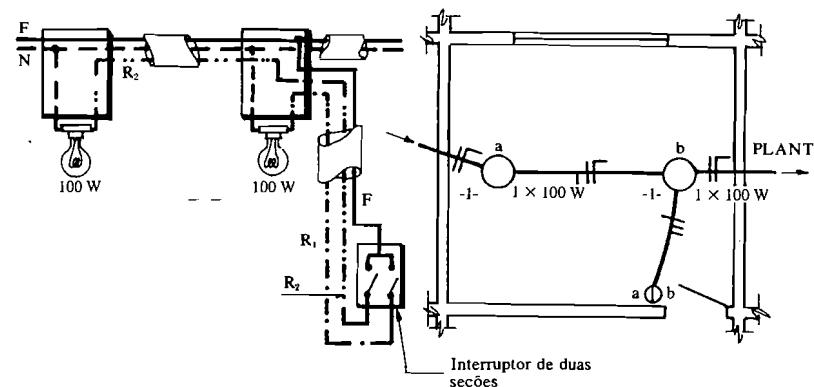


Fig. 3.6 Dois pontos de luz comandados por um interruptor de duas seções

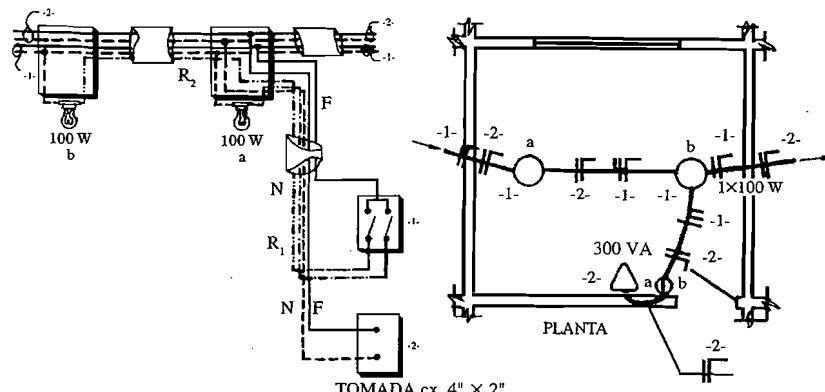


Fig. 3.7 Dois pontos de luz comandados por interruptor de duas seções e tomada de 300 VA. A NBR 5410/1997 indica a separação do circuito de iluminação do circuito de tomada (ponto de força)

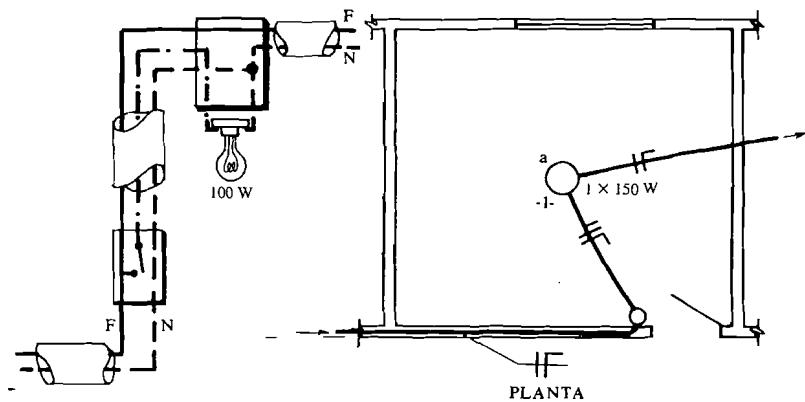


Fig. 3.8 Lâmpada acesa por interruptor de uma seção, pelo qual chega a alimentação

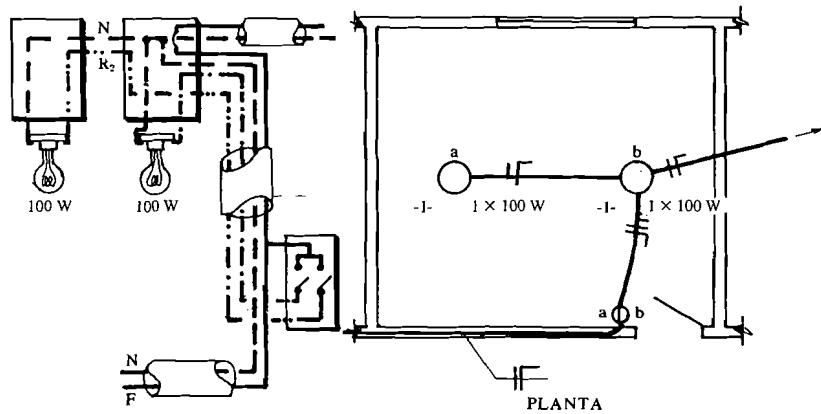


Fig. 3.9 Duas lâmpadas acesas por um interruptor de duas seções, pelo qual chega a alimentação

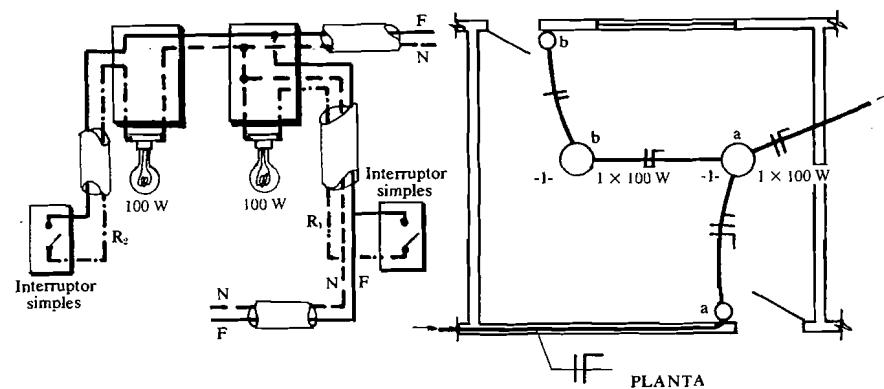


Fig. 3.10 Duas lâmpadas comandadas por interruptores independentes, de uma seção cada

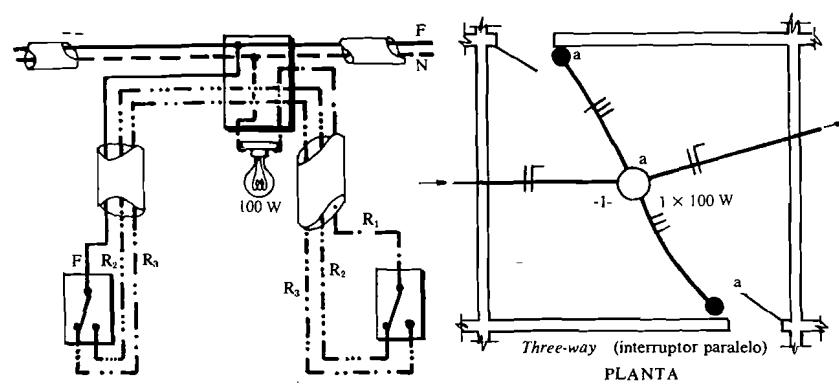


Fig. 3.11 Nesta situação a lâmpada se acha apagada, pois o circuito não se fecha

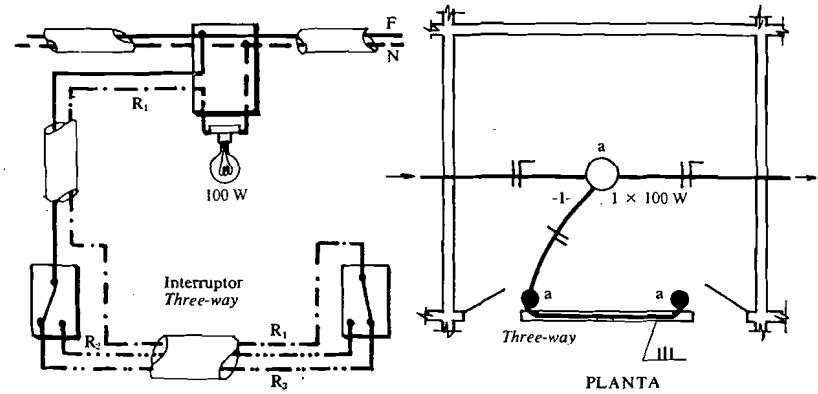


Fig. 3.12 Lâmpada acesa, pois o circuito se completa

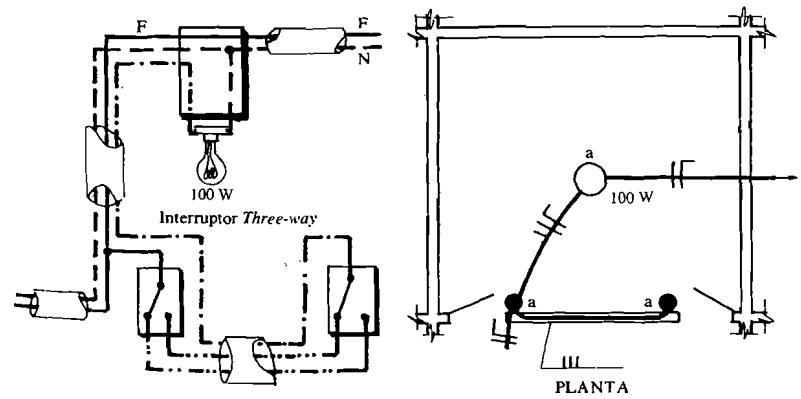


Fig. 3.13 Three-way (interruptor paralelo)

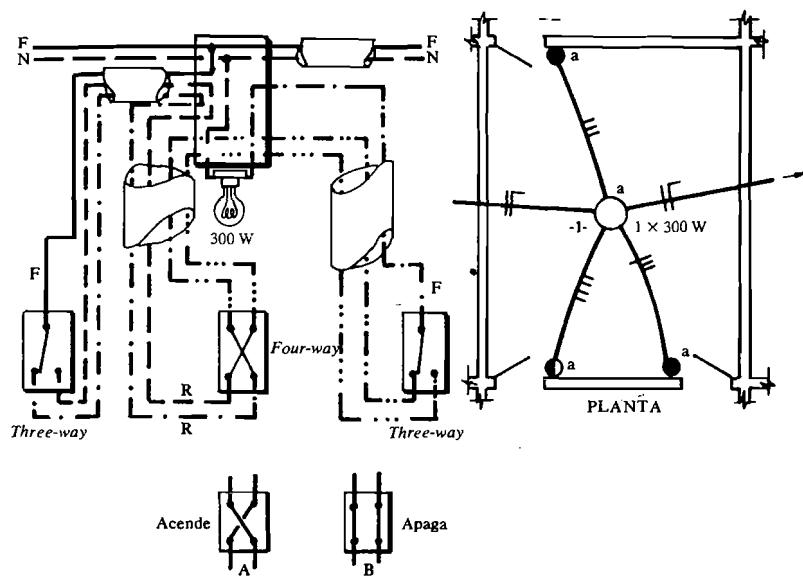


Fig. 3.14 Dois interruptores three-way e um four-way

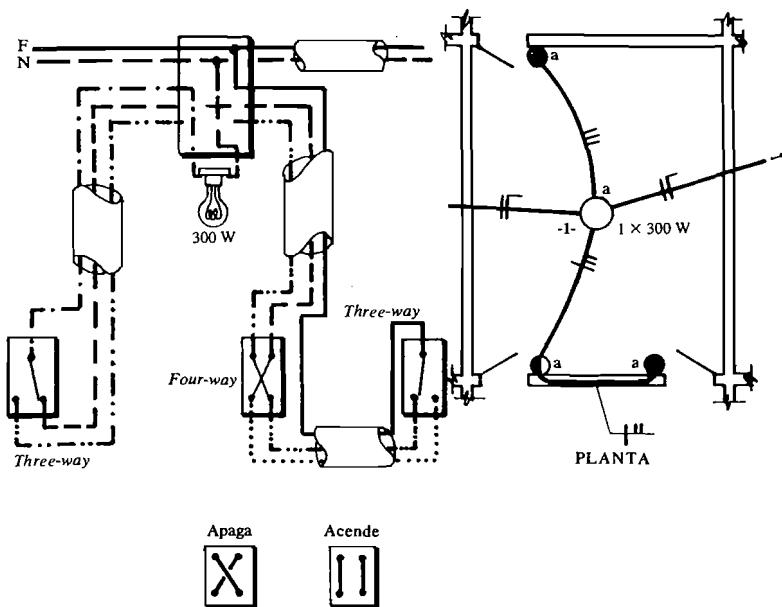


Fig. 3.15 Lâmpada acionada por dois interruptores three-way (paralelos) e um interruptor four-way (intermediário)

3.4.10 LIGAÇÃO DE UMA LÂMPADA COM INTERRUPTORES THREE-WAY

Dois interruptores *three-way* (ou paralelos) permitem que tanto um quanto outro possam acender ou apagar um ou mais pontos de luz. São usados em lances de escadas, em corredores e salas com acesso por duas portas.

3.4.11 LIGAÇÃO DE UMA LÂMPADA COM INTERRUPTORES THREE-WAY (PARALELOS)

Nesse tipo de ligação, as caixas estão interligadas. Ver Fig. 3.12.

3.4.12 LIGAÇÃO DE UMA LÂMPADA COM INTERRUPTORES THREE-WAY

Alimentação pela caixa de interruptor. Ver Fig. 3.13.

3.4.13 LIGAÇÃO DE UMA LÂMPADA COM DOIS THREE-WAY E UM FOUR-WAY

Os interruptores *three-way* permitem que se possa comandar uma lâmpada por pontos diferentes. É preciso, porém, que no circuito haja dois *three-way*, como se vê na Fig. 3.14. O interruptor tem dois fios de entrada e dois de saída. Ao se acionar o *four-way*, podemos colocá-lo na posição A ou na posição B, de modo que, qualquer que seja a posição do outro (ou dos outros *four-way*), passe sempre corrente quando se desejar,

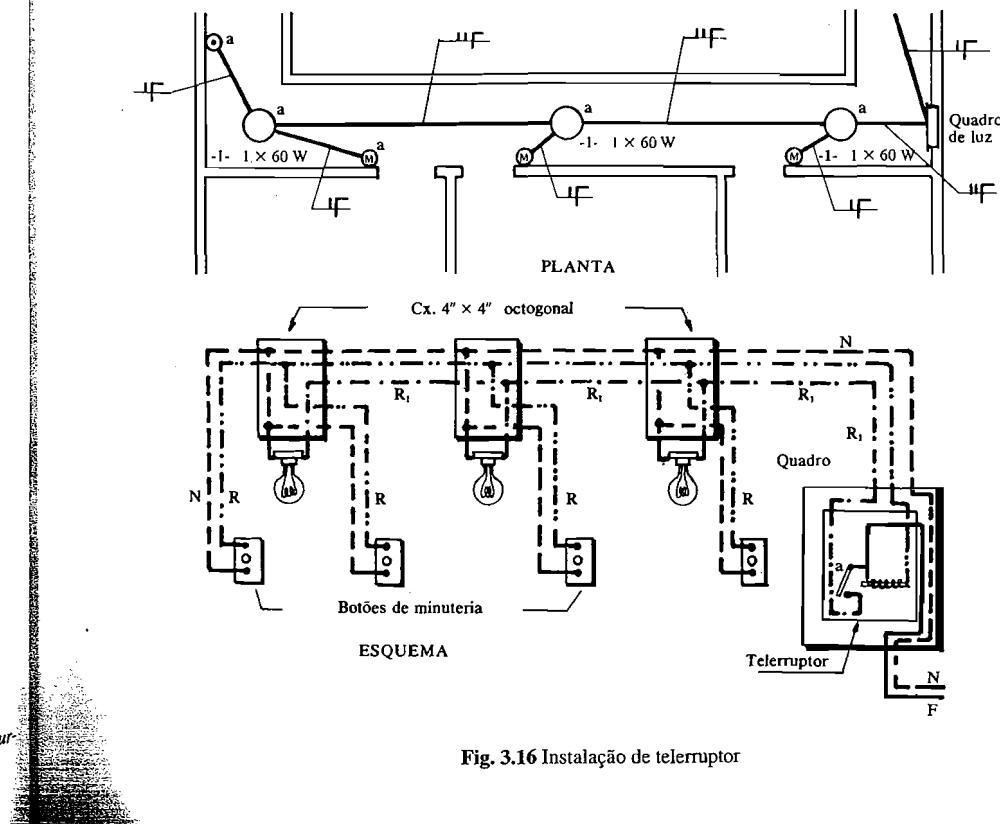


Fig. 3.16 Instalação de telerruptor

para acender a lâmpada, ou deixe de passar corrente quando se pretender apagar a lâmpada.

3.4.14 LIGAÇÃO DE UMA LÂMPADA COM DOIS THREE-WAY E UM FOUR-WAY

Nessa ligação as caixas dos *three-way* estão interligadas por eletroduto.

Na Fig. 3.15 é apresentado um esquema de ligação de interruptor *four-way* que, ao ser acionado, muda o estado da lâmpada em qualquer configuração em que ela esteja.

MINUTERIA

Por razões de economia, não é conveniente que as lâmpadas dos *halls* de serviço e sociais dos prédios fiquem acesas durante toda a noite, e às vezes durante todo o dia, no caso dos *halls* sem iluminação natural. Além disso, alguém poderia acender uma luz num *hall* e esquecer-se de apagá-la.

Emprega-se, por isso, um sistema que permite, com o acionamento de qualquer um dos interruptores do circuito, ligar simultaneamente, por exemplo, as lâmpadas dos *halls* de todos os andares, mesmo que seja de um único ponto de comando. Um aparelho denominado *minuteria*, após um certo tempo, admitemos um minuto (ou um intervalo de tempo predeterminado), desliga as lâmpadas sob o seu comando. Se uma pessoa sair do elevador e demorar a abrir a porta do apartamento, pode acionar o botão de minuteria, se

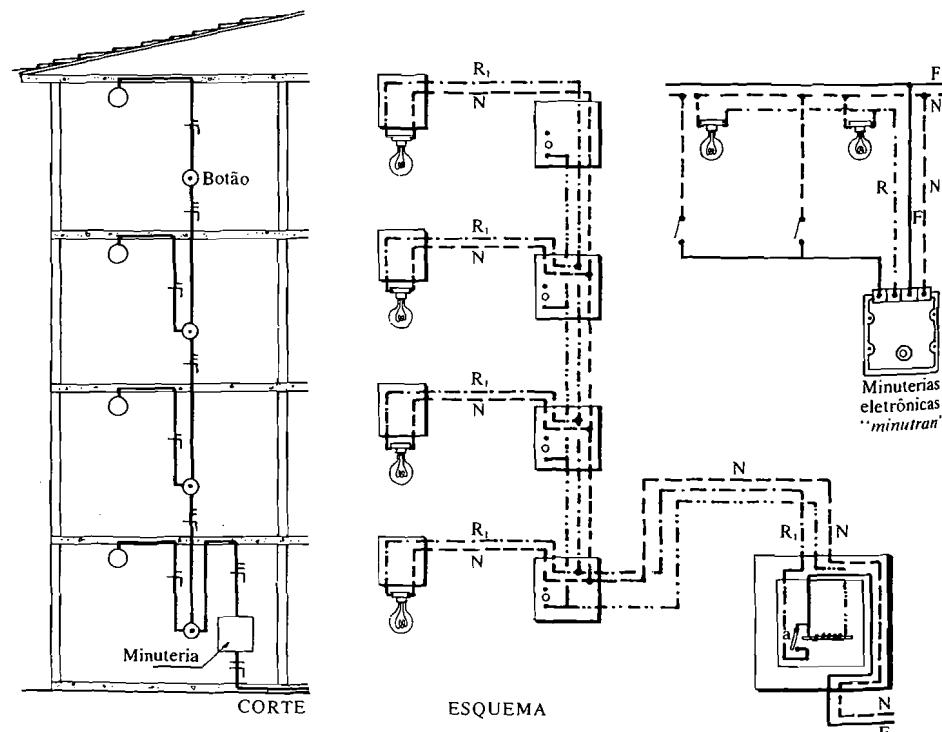


Fig. 3.17 Instalação de telerruptor (ou minuteria)

a luz apagar. As minuterias convencionais, em geral, contêm uma cápsula de vidro com mercúrio, capaz de inclinar-se sob a ação de um eletroímã, estabelecendo o circuito que alimenta as lâmpadas. Um mecanismo de relojoaria, regulável de 3 segundos a 10 minutos, atua sobre uma mola que desarma o dispositivo, fazendo com que a cápsula contenente mercúrio deixe de estabelecer contato com a corrente da fase e interrompa a alimentação às lâmpadas.

A cápsula de mercúrio visa a proporcionar um contato melhor do que aquele que se obteria com contatos sólidos diretos e maior durabilidade do dispositivo, principalmente quando é grande o número de lâmpadas e sua carga e frequência de ligações é elevada. O dispositivo associado ao mecanismo de relojoaria que constitui a minuteria vem a ser o *telerruptor*. O contato de mercúrio pode ser substituído por um contato mecânico, como mostram as Figs. 3.16 e 3.17. Um eletroímã é acionado quando se aperta qualquer um dos botões que atrai uma alavanca que fecha o circuito, acendendo as lâmpadas. É para desarmar e apagar as lâmpadas que o telerruptor vem acompanhado do mecanismo de relojoaria mencionado. Existem minuterias desse tipo para 1.250 W — 125 V e 2.500 W — 250 V, potências e tensões nominais.

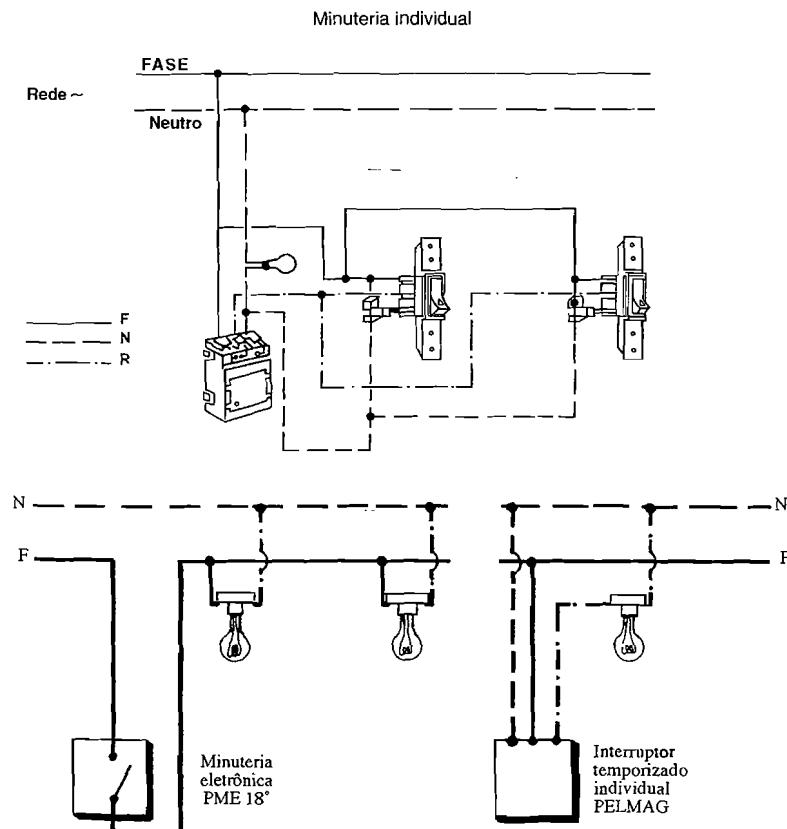


Fig. 3.18 Instalações de minuterias individuais eletrônicas

A Pial Legrand Indústria e Comércio Ltda. fabrica dois tipos de minutaria:

- **Minutaria eletrônica 50/60 HZ (110 V – 40 a 1.000 W ou 220 V – 40 a 2.000 W),** bitensão com pré-aviso de extinção de luz. Aparelho destinado a controlar lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, através de regulagem para funcionamento permanente ou temporizado de 15 segundos a 5 minutos. Pré-aviso de extinção de luz com redução de luminosidade durante 10 segundos. Possui lâmpadas de neônio na parte frontal, para sinalização de funcionamento. Incorpora fusível de ação rápida 10 A.
- **Minutaria individual 50/60 HZ (110 V – 300 W ou 220 V – 600 W),** para comandar a iluminação de áreas que não necessitam de luminosidade constante, como *hall*, social de apartamentos, ante-sala, escadas etc. São instaladas em caixa 4" × 2", podendo substituir interruptores simples para lâmpadas incandescentes. Mantém as lâmpadas acesas por um tempo aproximado de 1 minuto e 30 segundos. Pulsador equipado com um acessório luminoso, que facilita sua visualização em ambientes escuros.

3.5 ESTIMATIVA DE CARGA

3.5.1 DENSIDADE DE CARGA E CONSUMO POR APARELHO

Antes mesmo da elaboração do projeto, há necessidade de se proceder a uma estimativa preliminar da carga, isto é, da potência que será instalada, como base para cálculo

Tabela 3.2 Densidade de carga de pontos de luz

Local	Densidade de carga (W/m ²)
<i>Residências</i>	
Salas	25-30
Quartos	20
Escritórios	25-30
Copa e cozinha	20-25
Banheiro	10
Dependências	10
<i>Diversos</i>	
Escritórios, salas de aula	30-40
Lojas	30-40
Hotéis	
Recepção	50-70
Quartos	10-15
Bibliotecas	30-50
Bancos	30-40
Igrejas	10-20
Laboratórios	40-50
Restaurantes	15-20
Depósitos	5-10
Galerias de arte	30-40
Auditórios	
Platéia	10-20
Palco	150-300
Garagens comerciais	5-10

da demanda máxima e para a consulta prévia à concessionária de energia elétrica local.

À medida que o projeto vai sendo elaborado, e se procede ao estudo luminotécnico baseado na NBR 5413, como desenvolvido no Cap. 8 — Luminotécnica, vão sendo definidos, com maior exatidão, os pontos ativos, com suas respectivas cargas, de modo que se possa, ao final, dispor de elementos para o preparo de uma *lista geral de carga*, perfeitamente confiável. A estimativa preliminar costuma ser feita partindo-se da *densidade de carga* (W/m² ou VA/m²) e das áreas que serão servidas pela instalação.

Usam-se, em geral, tabelas de normas aprovadas ou de uso consagrado. No caso de residências e apartamentos, nos quais, em geral, se emprega a iluminação incandescente, não há necessidade da elaboração de um projeto luminotécnico. Prevê-se, em cada dependência, apenas um ponto com potência mínima de 100 VA, e, conforme as dimensões do recinto, maior número de pontos de luz no teto, controlados por interruptores. Eventualmente são previstas arandelas nas paredes ou sancas de luz indireta. Para a determinação das cargas de iluminação pode ser adotado o seguinte critério:

- a) Em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m² deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA.
- b) Em cômodos ou dependências com área superior a 6 m² deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m², acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m² inteiros (NBR 5410/1997).

No caso de escritórios, estabelecimentos comerciais e industriais, não se dispensa o projeto de iluminação, principalmente se a iluminação for fluorescente ou a vapor de mercúrio (fábricas, armazéns, pátios de armazenamento).

A NBR-5413/82-Iluminação de Interiores apresenta as prescrições quanto a cargas para iluminação, indicando o nível de iluminamento para vários locais.

A Tabela 3.3 indica potências nominais de aparelhos eletrodomésticos e que se precisa conhecer para a elaboração da lista de carga.

3.5.2 TOMADAS DE CORRENTE

Os aparelhos eletrodomésticos e as máquinas de escritório são normalmente alimentados por tomadas de corrente.

As tomadas podem ser divididas em duas categorias:

TOMADAS DE USO GERAL (TUG's)

Nelas são ligados aparelhos portáteis como abajures, enceradeiras, aspiradores de pó, liquidificadores, batedeiras.

TOMADAS DE USO ESPECÍFICO (TUES)

Alimentam aparelhos fixos ou estacionários, que, embora possam ser removidos, trabalham sempre num determinado local. É o caso dos chuveiros e torneiras elétricas, máquina de lavar roupa e aparelho de ar condicionado.

O projetista escolherá criteriosamente os locais onde devem ser previstas as tomadas de uso especial e preverá o número de tomadas de uso geral que assegure conforto ao usuário.

NÚMERO MÍNIMO DE TOMADAS DE USO GERAL (TUG's)

A NBR 5410/1997 estabelece as seguintes recomendações:

A) Residenciais (casas e apartamentos)

- a) *Cômodo ou dependência* com área ≤ 6 m², pelo menos 1 tomada.
- b) *Cômodo ou dependência* com área > 6 m², pelo menos 1 tomada para cada 5 metros, ou fração de perímetro, uniformemente distribuídas.
- c) *Banheiros*: 1 tomada junto ao lavatório.

Tabela 3.3 Potências nominais típicas de aparelhos eletrodomésticos segundo recomendações de concessionárias e de fabricantes

Aparelhos	Potência (watt)
Aquecedor de água (<i>boiler</i>)	
50 a 100 litros	1.000
150 a 200 litros	1.250
250 litros	1.500
300 a 350 litros	2.000
400 litros	2.500
Aquecedor de água em passagem	4.000 a 8.000
Aspirador de pó	250 a 1.000
Batedeira de bolo	70 a 300
Cafeteira	1.000
Chuveiro	2.500 a 5.400
Condicionador de ar	
2.125 kcal/h	1.500
2.500 kcal/h	1.650
3.000 kcal/h	1.900
3.500 kcal/h	2.100
4.500 kcal/h	2.900
5.250 kcal/h	3.100
7.500 kcal/h	4.000
Congelador (<i>freezer</i>)	350 a 500
Exaustor doméstico	300
Ferro de passar roupa	400 a 1.650
Fogão residencial	4.000 a 12.000
Forno microondas	800
Geladeira doméstica	150 a 400
Lavadora de pratos (residencial)	1.200 a 2.700
Lavadora de roupa (residencial)	500 a 1.000
Liquidificador	100 a 460
Máquina de escrever	150
Microcomputador e impressora	650
Triturador de lixo residencial	300 a 600
Secador de roupa residencial	3.500 a 6.000
Secador de cabelo portátil	500 a 1.500
Televisor transistorizado	70 a 100
Torradeira	500 a 1.200
Torneira elétrica	2.500 a 3.200
Ventilador portátil	60 a 100

d) Em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias: 1 tomada para cada 3,5 m ou fração de perímetro, sendo que acima de cada banca de pia, com largura igual ou superior a 30 cm, deve ser prevista, pelo menos, 1 tomada.

e) Subsólos, sótãos, garagens e varandas: 1 tomada no mínimo.

B) Comerciais

a) Escritórios com áreas iguais ou inferiores a 40 m² — 1 tomada para cada 3 m ou fração de perímetro, ou 1 tomada para cada 4 m² ou fração de área (adota-se o critério que conduzir ao maior número de tomadas).

b) Escritórios com áreas superiores a 40 m² — 10 tomadas para os primeiros 40 m²; 1 tomada para cada 10 m² ou fração de área restante.

c) Lojas:

1 tomada para cada 30 m² ou fração, não computadas as tomadas destinadas a lâmpadas, vitrines e demonstração de aparelhos.

POTÊNCIA A PREVER NAS TOMADAS

A) **Tomadas de uso específico (TUE's).** Adota-se a *potência nominal* (de entrada) do aparelho a ser usado (Tabela 3.3).

As tomadas de uso específico devem ser instaladas no máximo a 1,5 m do local previsto para o equipamento a ser alimentado.

B) **Tomadas de uso geral (TUG's) (valores mínimos).**

a) *Instalações residenciais*, hotéis, motéis e similares

- Em banheiros, cozinhas, copas-cozinhas, áreas de serviço: 600 VA por tomada, até 3 tomadas, e 100 VA para as demais, considerando cada um desses ambientes separadamente.
- outros cômodos ou dependências: 100 VA por tomada.

b) *Instalações comerciais*

- 200 VA por tomada.

3.6 POTÊNCIA INSTALADA E POTÊNCIA DE DEMANDA

A *potência instalada* (P_{inst}) ou *potência nominal* (P_n) de um setor de uma instalação ou de um circuito é a *soma das potências nominais* dos equipamentos de utilização (inclusive tomadas de corrente) pertencentes ao mesmo.

Na realidade, não se verifica o funcionamento de todos os pontos ativos simultaneamente, de modo que não seria econômico dimensionar os alimentadores do quadro geral ao quadro terminal, situado no apartamento, no andar de escritório, ou na loja, considerando a carga como a soma de todas as potências nominais instaladas. Considera-se que a potência realmente *demandada* pela instalação, P_d , seja inferior à *instalada* (P_{inst}), e a relação entre ambas é designada como *fator de demanda*, que se representa pela letra f . Em outras palavras, multiplicando-se o fator de demanda pela carga instalada, obtém-se a *potência demandada* (P_d), ambos chamados de *potência de alimentação* (P_{alim}) ou de *demandada máxima*. Assim,

$$P_d = P_{alim} = \text{demanda máxima},$$

e

$$P_d = f \times P_{inst} \quad 3.1$$

A experiência do projetista e o conhecimento das circunstâncias que influem no *fator de demanda* permitirão que seja encontrado um valor aplicável a cada contexto específico de instalação.

Para calcularmos a *potência de alimentação*, ou seja, a demanda máxima (P_{alim}), deveremos fazer:

$$P_{alim} = f(P_1 + P_2) \quad 3.2$$

Sendo P_2 a *soma das potências dos aparelhos fixos da unidade residencial* e P_1 a *soma das potências de iluminação, de tomadas de uso geral e tomadas de uso específico que não se destinem à ligação de aparelhos fixos*.

3.7 INTENSIDADE DA CORRENTE

No projeto de instalações, para se poder dimensionar os condutores e dispositivos de proteção, deve-se calcular previamente a intensidade da corrente que por eles passa. Podemos distinguir duas conceituações para a corrente elétrica, aplicáveis ao caso.

Tabela 3.4 Valores do fator de potência e do rendimento para equipamentos de uso comum

Equipamentos	$\cos \varphi$	Rendimento η
<i>Iluminação</i>		
Incandescente	1,0	1,0
Mista	1,0	1,0
Aparelhos <i>não-compensados</i> (baixo $\cos \varphi$)	0,5	0,6 a 0,83
Fluorescente		
com <i>starter</i> 18 a 65 W	0,5	0,6 a 0,83
partida rápida 20 a 110 W	0,5	0,54 a 0,80
Vapor de mercúrio		
220 V — 50 a 1.000 W	0,5	0,87 a 0,95
Vapor de sódio a alta pressão		
70 a 1.000 W	0,4	0,9
Aparelhos <i>compensados</i> (alto $\cos \varphi$)	0,85	0,6 a 0,83
Fluorescente		
com <i>starter</i> — 18 a 65 W	0,85	0,6 a 0,83
partida rápida — 20 a 110 W	0,85	0,54 a 0,8
Vapor de mercúrio		
220 V — 50 a 1.000 W	0,85	0,87 a 0,95
Vapor de sódio a alta pressão		
70 a 1.000 W	0,85	0,90
<i>Motores</i> (trifásicos, de gaiola)		
até 600 W	0,5	—
de 1 a 4 cv	0,75	0,75
de 5 a 50 cv	0,85	0,80
mais de 50 cv	0,90	0,90
<i>Resistores</i> (aquecimento elétrico)	1,0	1,0

Corrente nominal I_n . É a corrente consumida pelo aparelho ou equipamento de utilização, de modo a operar segundo as condições prescritas em seu projeto de fabricação. Em muitos casos, vêm indicadas na plaqueta, fixada no equipamento. Quando isto não ocorre, devemos calcular a corrente, conforme veremos logo a seguir, usando para este cálculo a Tabela 3.4.

Corrente de projeto I_p . É a corrente que um *círculo de distribuição* ou *terminal* deve transportar, operando em condições normais, quando não se espera que todos os equipamentos a ele ligados estejam sendo utilizados, isto é, que funcionem simultaneamente. Consideremos os dois casos.

■ CORRENTE NOMINAL I_n (AMPÉRES)

Pode ser calculada pelas expressões seguintes:

A) CIRCUITOS MONOFÁSICOS (fase e neutro)

$$I_n = \frac{P_n}{u \times \eta \times \cos \varphi} \quad 3.3$$

sendo:

P_n — a potência nominal das lâmpadas ou do equipamento, expressa em watts. Corresponde à *potência de saída do equipamento*;

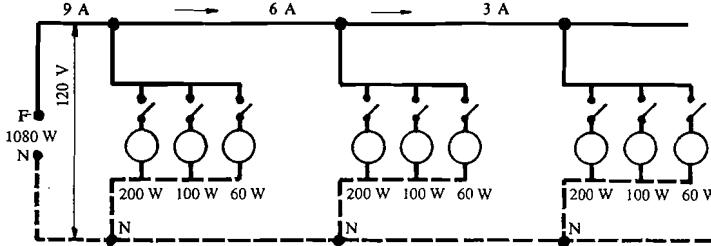


Fig. 3.19 Distribuição com *F* e *N* contendo apenas lâmpadas

u (volts) — diferença de potencial ou tensão entre *fase* e *neutro* (120 V ou 127 V, por exemplo);

η — rendimento, isto é, a relação entre a potência de saída P_s de um equipamento e a de entrada P_e , no mesmo.

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad 3.4$$

define o rendimento.

No caso de iluminação fluorescente, η se refere aos reatores que consomem elevada corrente reativa da rede de alimentação. Em algumas tabelas é apresentada a perda em watts, e não o rendimento η .

$\cos \varphi$ — ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente (*fator de potência*), conforme descrito em 1.5.2.

Para lâmpadas incandescentes e equipamento puramente resistivo,

$$\eta = 1 \text{ e } \cos \varphi = 1$$

De modo que a corrente será dada por:

$$I_n = \frac{P_n(\text{watts})}{u \text{ (volts)}} \quad 3.5$$

Alguns valores de $\cos \varphi$ e η se encontram na Tabela 3.4 e podem ser adotados quando não se conhecerem os dados das plaquetas dos equipamentos.

■ Exemplo 3.1

Lâmpada incandescente de 300 W — 120 V.

$$I = \frac{300}{120} = 2,5 \text{ A}$$

Chuveiro elétrico: 2.800 W — 120 V.

$$I = \frac{2.800}{120} = 23,3 \text{ A}$$

A Fig. 3.19 é o esquema de um circuito monofásico com nove lâmpadas ligadas em paralelo, entre fase e neutro. Utilizando conceitos anteriores, determinamos os valores das correntes elétricas: 9A, 6A e 3A.

B) CIRCUITOS TRIFÁSICOS (3 F E N) EQUILIBRADOS

$$I_n = \frac{P_n}{3 \times u \times \eta \times \cos \varphi}$$

C) PARA CIRCUITOS TRIFÁSICOS

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos \varphi}$$

u (Volts) — tensão entre fase e neutro

U (Volts) — tensão entre fases

■ Exemplo 3.2

Motor elétrico (trifásico) de 5 cv — 220 V entre fases.

Potência nominal $P_n = 5 \text{ cv} \times 736 \text{ W} = 3.680 \text{ W}$, adotando 1 cv = 736 W. $\cos \varphi = 0,85$ $\eta = 0,80$ (Tabela 3.4).

Corrente nominal:

$$I_n = \frac{3.680}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,80 \times 0,85} = 14,2 \text{ A}$$

D) CIRCUITOS COM DUAS FASES E NEUTRO de um circuito trifásico (Fig. 3.20).

A corrente dos condutores é dada por:

$$I_n = \frac{P_n}{U \times \eta \times \cos \varphi}$$

U = tensão entre fases (220 V, p. ex.)

■ CORRENTE DE PROJETO I_p NOS ALIMENTADORES

Já vimos que normalmente não estarão funcionando todos os equipamentos, principalmente os que atuam ligados a tomadas, de modo que se pode considerar no dimensionamento dos *alimentadores* uma corrente inferior (I_p), que corresponderia ao uso simultâneo de todos os equipamentos, uma vez que a potência demandada é inferior à potência instalada. A *corrente de projeto* I_p é calculada multiplicando-se a corrente nominal, correspondente à potência nominal, pelos seguintes fatores:

f_1 = **Fator de demanda**, aplicável a circuitos de distribuição (entre o quadro geral e o quadro terminal). Não se usa em circuitos terminais, a partir do último quadro de distribuição.

f_2 = **Fator de utilização**. Decorre do fato de que nem sempre um equipamento é solicitado a trabalhar com sua potência nominal. Isto acontece normalmente com motores e não deve ser considerado como aplicável a lâmpadas e tomadas, aparelhos de aquecimento e de ar condicionado. Para estes casos, $f_2 = 1$, isto é, a potência utilizada é igual à potência nominal. Na falha de indicações mais rigorosas quanto ao comportamento dos motores, pode-se adotar, para o caso em questão, $f_2 = 0,75$.

f_3 = Fator que leva em consideração um aumento futuro de carga do circuito alimentador. Quando não se for prever nenhum aumento, $f_3 = 1$. No entanto, a NBR 5410/1997 recomenda uma capacidade de reserva para futuras ampliações. Assim, tomaremos $f_3 = 1,20$, critério dos Autores.

f_4 = Fator aplicável a circuitos de motores. Na determinação de f_4 costuma-se acrescentar 25% à carga do motor de maior potência.

A corrente do projeto será dada por:

$$I_p = I_n \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4$$

3.6

3.7

3.9

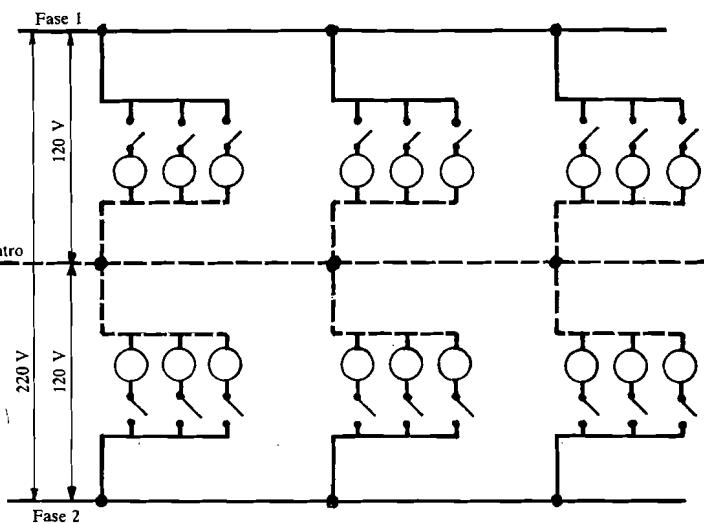


Fig. 3.20 Distribuição com 2 F e N. Em circuitos terminais, o neutro não pode ser compartilhado. Sendo monofásico, cada circuito terá o neutro exclusivo

3.8 FORNECIMENTO ÀS UNIDADES CONSUMIDORAS

A alimentação até o medidor no quadro geral e deste até o quadro terminal no apartamento, andar de escritório etc. deve obedecer às seguintes exigências, conforme tabela a seguir:

Tabela 3.4A Limitações do Atendimento pelas Concessionárias do Fornecimento de Energia

Tipo de ligação	Empresa	Tensão	Potências
1 Fase + Neutro	Light (RJ)	120-125 V	até 4.400 W
	Cemig (MG)	127-220 V	até 10.000 W
	Eletropaulo (SP)	127-220 V	até 10.000 W
		220-380 V	até 15.000 W
2 Fases + Neutro	Light (RJ)	120-125 V	4.400 W a 8.800 W
	Cemig (MG)	127-220 V	10.000 W a 15.000 W
	Eletropaulo (SP)	127-220 V	11.000 W a 20.000 W
		220-380 V	16.000 W a 25.000 W
3 Fases + Neutro	Light (RJ)	120-125 V	acima de 8.800 W
	Cemig (MG)	127-220 V	até 75.000 W
	Eletropaulo (SP)	127-220 V	21.000 W a 75.000 W
		220-380 V	26.000 W a 75.000 W

Deve-se procurar dividir os pontos ativos (luz e tomadas) de modo que a carga, isto é, que a potência se distribua, tanto quanto possível, uniformemente entre as fases do circuito, e de modo que os circuitos terminais tenham aproximadamente a mesma potência. Além disso, deve-se atender às seguintes recomendações:

- Equipamentos com potência igual ou superior a 1.200 W devem ser alimentados por circuitos individuais.
- Aparelhos de ar condicionado devem ter circuitos individuais.
- Cada circuito deve ter um exclusivo condutor neutro.
- As tomadas da copa-cozinha e área de serviço devem fazer parte de circuitos separados para cada dependência.
- Sempre que possível, devem-se projetar circuitos independentes para: quartos; salas (dependências sociais); cozinhas e dependências de serviço.
- Circuitos de iluminação e circuitos de tomadas deverão estar separados (NBR 5410/1997).
- Cada circuito partindo do quadro terminal de distribuição (quadro de luz do apartamento, p. ex.) deve sempre que possível ser projetado para corrente de 15 A, podendo chegar a 20 A e, no caso de chuveiros e torneiras elétricos em circuito fase-neutro, para correntes nominais ainda maiores.
- Deve-se obedecer às seguintes prescrições mínimas: residências: 1 circuito para cada 60 m² ou fração; escritórios e lojas: 1 circuito para cada 50 m² ou fração.

■ Exemplo 3.3

Um escritório de projetos tem:

- 24 aparelhos de luz fluorescente, com reatores de alto fator de potência, partida rápida, de 4 × 40 W cada;
- 20 tomadas de uso geral de 200 VA cada (potência recomendada pela NBR 5410/1997);
- 5 aparelhos de ar condicionado de 2.100 W de potência.

Determinemos as correntes de projeto, sob tensão de 220 V, trifásicas.

a) Iluminação fluorescente

$$P'_n = 24 \text{ ap.} \times 4 \text{ lâmp.} \times 40 \text{ W} = 3.840 \text{ W}$$

Fator de potência ($\cos \varphi$) = 0,85; rendimento η = 0,65 (perdas nos reatores)

$$\text{Corrente de projeto } I_{p1} = \frac{P'_n}{\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos \varphi} = \frac{3.840}{1,73 \times 220 \times 0,65 \times 0,85} = 18,24 \text{ A}$$

b) Tomadas de uso geral

$$P''_n = 20 \text{ tom.} \times 200 \text{ VA} = 2.000 \text{ VA}$$

Fator de demanda para tomadas de escritório (Tabela 3.6)

$$f = 0,86$$

$$\text{Potência de projeto: } P_p = 4.000 \times f = 4.000 \times 0,86 = 3.440 \text{ VA}$$

sendo $\eta = 1$ e $\cos \varphi = 1$ para tomadas de uso geral, temos:

$$I_{p2} = \frac{3.440}{\sqrt{3} \times 220 \times 1 \times 1}$$

$$\text{Corrente de projeto } I_{p2} = \frac{3.440}{\sqrt{3} \times 220 \times 1} = 9,02 \text{ A}$$

c) Ar-condicionado

$$\cos \varphi = 0,75; \eta = 0,75; f = 1$$

$$\text{Potência} = 5 \text{ aparelhos} \times 2.100 \text{ W} = 10.500 \text{ W}$$

$$I_{p3} = \frac{10.500}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,75 \times 0,75} = 48,99 \text{ A}$$

$$\text{Logo: } I_p = I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} = 18,24 + 9,02 + 48,99 = 76,25$$

Observe que, segundo o extinto DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), o cos φ deverá ser maior ou igual a 0,92. O assunto é tratado no Cap. 9 — Correção do Fator de Potência.

3.9 CÁLCULO DA CARGA INSTALADA E DA DEMANDA SEGUNDO PRESCRIÇÕES DA LIGHT

3.9.1 CARGA INSTALADA

Vem a ser o somatório das potências nominais de placa dos aparelhos elétricos e das potências das lâmpadas de uma unidade consumidora.

Podemos usar a Tabela 3.3 para calcular a carga instalada.

A carga instalada servirá para a definição da categoria de atendimento e para o dimensionamento das entradas individuais de instalações com até 8,8 kW para tensões de 220/127 V. Portanto, para cargas de até 8,8 kW, nas tensões de 220/127 V, não se considera a *demand*a. Usa-se a Tabela 3.5 para o dimensionamento de entradas individuais monofásicas e bifásicas. Vemos que, se a tensão de fornecimento for de 380/220 V, a carga instalada monofásica ou bifásica pode chegar até 15,2 kW, e se for de 230/115 V, até 16 kW.

3.9.2 CÁLCULO DA DEMANDA

3.9.2.1 Caso de Entradas Individuais

• Determina-se primeiramente a carga instalada, conforme vimos no item 3.9.1.

• Verifica-se se a carga instalada calculada se encontra dentro dos limites mínimos, calculados utilizando a Tabela 3.6.

• Determina-se *previsão de carga*, correspondente aos *motores* instalados, independentemente da carga já determinada para fins de iluminação e tomadas. Nesta *previsão de carga*, considera-se:

para residências isoladas: 1 cv*

para casas de vila: 2 cv*

para apartamentos ou unidades consumidoras com entradas coletivas: 2 cv/unidade consumidora*

para escritórios: 1 cv/15,00 m² de área útil, quando não houver previsão de ar condicionado central*

para lojas e galpões: 3 cv/unidade consumidora com área útil de até 30,00 m²** e 5 cv/unidade consumidora, com área útil acima de 30,00 m²**

* Estas potências referem-se à previsão para aparelhos de ar condicionado tipo janela.

** Estas potências referem-se à previsão para motores, devendo a diferença entre estes valores e a carga instalada em motores, quando positiva, ser considerada como um único motor, para efeito de utilização da Tabela 3.7.

No caso de lojas em que a carga declarada conste previsão para ar condicionado tipo janela, a potência total prevista (cv) poderá ser deduzida dos valores ora estabelecidos (3 cv para unidades consumidoras de até 30,00 m² e 5 cv para unidades consumidoras com mais de 30,00 m²) para efeito da determinação da potência mínima em motores.

Tabela 3.5 Dimensionamento de entradas individuais monofásicas e bifásicas

Tensão de fornecimento	Categoria de atendimento	Carga instalada (kW) CI	Límite de potência instalada em					Quadro medidor
			Máq. de solda a arco ou aparelho de galvanização (kVA) (1 0)	Motoras (cv)	Aparelhos de raios X (kV/A) (1 0)	Máquina de solda a resistência (kV/A) (1 0)	Disjuntor termomagnético	
220/	M1	CI ≤ 3,3	1,0	—	—	—	30	6 (1) —
	M2	CI ≤ 4,4	1,2	1,3	1,5	40	10	A2 A2
127 V	B1	4,4 < CI ≤ 6,6	2,0	1,3 (0 N) ou 3,0 (0 0)	1,3 (0 N) ou 3,6 (0 0)	1,5 (0 N) ou 3,7 (0 0)	30	6 (2) (2)
	B2	4,4 < CI ≤ 8,8	1,5	2,0	2	2,6	30	6 (3) (3)
380/	M3	CI ≤ 5,7	2,0	—	—	40	10	86
	M4	CI ≤ 7,6	3,0	2,0 (0 N) ou 5,2 (0 0)	2,2 (0 N) ou 6,2 (0 0)	2,6 (0 N) ou 6,4 (0 0)	30	6 (4) (4)
220 V	B3	7,6 < CI ≤ 11,4	3,0	—	—	40	10	86
	B4	11,4 < CI ≤ 15,2	—	—	—	40	10	86
230/	M5(5)	CI ≤ 3,0	0	0	0	30	6 (1) —	86
	M6(5)	CI ≤ 4,0	1,0	0	0	40	10	75
115 V	B5	4,0 < CI ≤ 6,0	2,0	0	0	30	6 (4)	66
	B6	4,0 < CI ≤ 8,0	—	—	—	40	10	59
B7	8,0 < CI ≤ 16,0	5,0	0	0	0	70	25	52

Tabela 3.6 Carga mínima e fatores de demanda para instalações de iluminação e tomadas

Descrição	Carga mínima W/m ²	Fator de demanda (%)
Auditórios, salões para exposição e semelhantes	15	86
Bancos	50	86
Barbearias, salões de beleza e semelhantes	30	86
Clubes e semelhantes	20	86
Escolas e semelhantes	30	86 para os primeiros 12 kW 50 para o que excede 12 kW
Escritórios	50	86 para os primeiros 20 kW 70 para o que excede 20 kW
Garagem, áreas de serviço e semelhantes	5	86
Hospitais e semelhantes	20	40 para os primeiros 50 kW 20 para o que excede 30 kW
Hotéis e semelhantes	20	50 para os primeiros 20 kW 40 para os seguintes 80 kW 30 para o que excede 100 kW
Igrejas e semelhantes	15	86
Lojas e semelhantes	30	86
Residências	30	0 < P(kW) ≤ 1 1 < P(kW) ≤ 2 2 < P(kW) ≤ 3 3 < P(kW) ≤ 4 4 < P(kW) ≤ 5 5 < P(kW) ≤ 6 6 < P(kW) ≤ 7 7 < P(kW) ≤ 8 8 < P(kW) ≤ 9 9 < P(kW) ≤ 10 10 < P(kW) ≤ 24
Restaurantes e semelhantes	20	86

Notas:

- 1) Instalações em que, por sua natureza, a carga seja utilizada simultaneamente deverão ser consideradas com o fator de demanda de 100%.
- 2) Não estão considerados nesta tabela os letreiros luminosos e a iluminação de vitrines.
- 3) O valor de carga para iluminação e tomadas de unidades residenciais, além de satisfazer à condição mínima de 30 W/m² de área construída, nunca poderá ser inferior a 2,2 kW por unidade consumidora, exceto nos casos de consumidores de baixa renda.

Tabela 3.7 Demanda de motores. Cargas individuais

Potência (cv)	1/6	1/4	1/3	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3
Carga (kVA)	0,45	0,63	0,76	1,01	1,24	1,43	2,00	2,60	3,80
Potência (cv)	5	7 1/2	10	15	20	25	30	40	50
Carga (kVA)	5,40	7,40	9,20	12,70	16,40	20,30	24,00	30,60	40,80

Tabela 3.8 Demanda de motores. Fatores de demanda

Número total de motores	1	2	3 a 5	Mais de 5
Fator de demanda (%)	100	90	80	70

Nota:
A demanda de um conjunto de motores será o produto do somatório das cargas individuais pelo fator de demanda correspondente ao número total de motores que compõem o conjunto.

- Calcula-se a demanda, utilizando a seguinte expressão:

$$D_{(\text{kVA})} = d_1 + d_2 + 1,5d_3 + d_4 + d_5 + d_6 \quad 3.10$$

sendo:

- $d_1 (\text{kW})$ = Demanda de iluminação e tomadas, calculada com base nos fatores de demanda da Tabela 3.6.
 $d_2 (\text{kW})$ = Demanda dos aparelhos para aquecimento de água (chuveiros, aquecedores, torneiras etc.), calculada conforme a Tabela 3.9.
 $d_3 (\text{cv})$ = Demanda dos aparelhos de ar condicionado tipo janela, calculada conforme as Tabelas 3.10 e 3.11, respectivamente, para residências e escritórios. Para outros tipos de utilização, tais como bancos, lojas etc., o fator de demanda deverá ser considerado igual a 100%.
 $d_4 (\text{kVA})$ = Demanda das unidades centrais de condicionamento de ar, calculada a partir das respectivas correntes máximas totais — valores a serem fornecidos pelos fabricantes — considerando o fator de demanda de 100%.
 $d_5 (\text{kVA})$ = Demanda dos motores elétricos e máquinas de solda tipo motor gerador, calculada conforme a Tabela 3.7.
 $d_6 (\text{kW})$ = Demanda das máquinas de solda a transformador e aparelhos de raios X, ou kVA) calculada conforme a Tabela 3.12.

Tabela 3.9 Fatores de demanda de aparelhos para aquecimento de água (boilers, torneiras e chuveiros elétricos)

Número de aparelhos	Fator de demanda	Número de aparelhos	Fator de demanda	Número de aparelhos	Fator de demanda
1	100	10	49	19	36
2	75	11	47	20	35
3	70	12	45	21	34
4	66	13	43	22	33
5	62	14	41	23	32
6	59	15	40	24	31
7	56	16	39	25 ou mais	30
8	53	17	38		
9	51	18	37		

Nota:

Para o dimensionamento de ramais de entrada ou trechos da rede interna destinados ao suprimento de mais de uma unidade consumidora, fatores de demanda devem ser aplicados para cada tipo de aparelho, separadamente, sendo a demanda total de aquecimento o somatório das demandas obtidas:

$$d_2 = \sum d_{\text{chuveiros}} + \sum d_{\text{aquecedores}} + \sum d_{\text{torneiras}} + \dots$$

Mais detalhes aparecem no item 17.3.4, Cálculo da Demanda do Projeto.

Tabela 3.10 Fatores de demanda para condicionadores de ar tipo janela instalados em residências

Potência instalada em aparelhos de ar condicionado (cv)	Fator de demanda (%)
Os primeiros 10	100
De 11 a 20	85
De 21 a 30	80
De 31 a 40	75
De 41 a 50	70
De 51 a 75	65
Acima de 75	60

Nota:

Quando se tratar de unidade central de condicionadores de ar, dever-se-á considerar o fator de demanda igual a 100%, e a demanda do mesmo em kVA deverá ser determinada através dos dados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 3.11 Fatores de demanda para condicionadores de ar tipo janela instalados em escritórios

Potência instalada em aparelhos de ar condicionado (cv)	Fator de demanda (%)
Os primeiros 25	100
De 26 a 50	90
De 51 a 100	80
Acima de 100	70

Nota:

Quando se tratar de unidade central de condicionadores de ar, será tomado o fator de demanda igual a 100%, e a demanda do mesmo em kVA deverá ser determinada através dos dados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 3.12 Fatores de demanda individuais para máquinas de solda a transformador e aparelhos de raios X e galvanização

Equipamento	Potência do aparelho	Fator de demanda (%)
Solda a arco e aparelhos de galvanização	1.º maior	100
	2.º maior	70
	3.º maior	40
	Soma dos demais	30
Solda a resistência	Maior	100
	Soma dos demais	60
Aparelhos de raios X	Maior	100
	Soma dos demais	70

Nota:

Máquinas de solda tipo motor gerador deverão ser consideradas como motores.

■ Exercício 3.1

Calcular a demanda para uma residência isolada com 180 m² de área útil, tendo a seguinte carga instalada:

• Iluminação e tomadas	7.200 W
• 2 chuveiros de 2.500 W	5.000 W
• 1 motor de 1/2 cv	372 W
TOTAL	12.572 W

Como a carga de 12.572 kW é maior que 8,8 kW, é necessário calcular a demanda. Ver item 3.9.2.

- a) *Compatibilização da carga instalada com as exigências mínimas.*
Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$180 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 5.400 \text{ W}$$

Esta carga é inferior à carga instalada, isto é,

$$5.400 \text{ W} < 7.200 \text{ W}$$

Adotaremos o valor 7.200 W

Aparelhos de aquecimento:

No item 3.9.2., Cálculo da demanda, será feito pela Tabela 3.9.

$$\text{carga instalada} = 5.000 \text{ W} = 2 \times 2.500 \text{ W}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

Na carga instalada não constam aparelhos de ar condicionado, mas na Previsão de Carga vemos que é necessário prever uma carga de 1 cv para os mesmos. Temos que considerar então a carga instalada = 1 cv.

Motores:

No item Cálculo da Demanda, vemos que para motores não é feita nenhuma exigência. Logo, carga instalada = 1/2 cv.

b) *Cálculo da demanda.*
Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

Até 1 kW	0,86	$1 \times 0,86 = 0,86$
De 1 a 2 kW	0,75	$1 \times 0,75 = 0,75$
De 2 a 3 kW	0,66	$1 \times 0,66 = 0,66$
De 3 a 4 kW	0,59	$1 \times 0,59 = 0,59$
De 4 a 5 kW	0,52	$1 \times 0,52 = 0,52$
De 5 a 6 kW	0,45	$1 \times 0,45 = 0,45$
De 6 a 7 kW	0,40	$1 \times 0,40 = 0,40$
De 7 a 7,2 kW	0,35	$0,2 \times 0,35 = 0,07$

$$\text{Demanda} \quad d_1 \quad = 4,30 \text{ kW}$$

Aparelhos de aquecimento (Tabela 3.9):
Para dois aparelhos, a demanda é 0,75.

$$d_2 = 5 \text{ kW} \times 0,75 = 3,75 \text{ kW}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela (Tabela 3.10):
Até 10 aparelhos, a demanda é 100%.

$$d_3 = 1 \times 1,0 = 1 \text{ cv}$$

Motores (Tabela 3.7):
O motor a ser instalado é de $\frac{1}{2}$ cv. Na Tabela 3.7, temos, para $\frac{1}{2}$ cv, 1,01 kVA.
Na Tabela 3.8, temos, para um motor, a demanda de 100%. Logo,

$$d_4 = 1,01 \times 1,00 = 1,01 \text{ kVA}$$

Demanda total, D (ver expressão 3.9):

$$D_{(\text{kVA})} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_4$$

$$D_{(\text{kVA})} = 4,30 + 3,75 + (1,5 \times 1) + 1,01 = 10,56$$

A demanda total será de

$$D = 10,56 \text{ kVA}$$

■ Exercício 3.2

Calcular a demanda para uma escola com 1.500 m² de área útil, sendo a carga instalada:

• Iluminação e tomadas	47.000 W
• 5 chuveiros de 2.500 W	12.500 W
• 6 aparelhos de ar condicionado de 1 HP 6 × 746 W	4.476 W
• 2 motores de 5 cv (bombas-d'água) sendo um de reserva: 5 × 746	3.720 W, adotando 1 HP = 746 W = 1 cv
• 3 elevadores de 10 cv 3 × 10 × 746 W	22.380 W

$$\text{Carga total instalada} \quad 90.076 \text{ W}$$

Como 90.076 W > 8.800 W, devemos calcular a demanda da instalação.

- a) *Compatibilização da carga instalada com as exigências mínimas.*
Iluminação e tomadas (Tabela 3.6).

Para escolas e semelhantes, temos 30 W/m², logo,

$$1.500 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 45.000 \text{ W.}$$

Como a carga instalada para iluminação e tomadas é de 47.000 W, e $47.000 > 45.000$, adotaremos o valor de 47.000 W.

Para as demais cargas, o item Cálculo da demanda (3.9.2) não faz nenhuma exigência.

b) Cálculo da demanda.

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

Até 12 kW — demanda de 86%	
$0,86 \times 12$	10,32 kW
Para o que excede de 12 kW, 50%	
$0,50 (47 \text{ kW} - 12 \text{ kW})$	17,50 kW
Demandas d_1	27,82 kW

Aparelhos de aquecimento (Tabela 3.9):

$$d_2 = (5 \text{ chuv.} \times 2.500 \text{ W}) \times 0,62 = 7,75 \text{ kW}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela (Tabela 3.10):

$$d_3 = (6 \text{ apar.} \times 1,0 \times 1,0) = 6,0 \text{ cv}^*$$

Motores (Tabela 3.7):

Motor de 5 cv corresponde a 5,40 kVA (Tabela 3.7).

Motor de 10 cv corresponde a 9,20 kVA (Tabela 3.7).

Temos um motor de bomba e três de elevadores, portanto, quatro motores. Pela Tabela 3.8, vemos que o fator de demanda é 80% para três a cinco motores.

$$d_4 = (5,40 + 3 \times 9,2) \times 0,80 = 26,4 \text{ kVA}$$

Demandas totais, D (ver fórmula 3.9):

$$D_{(\text{kVA})} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_4$$

$$D_{(\text{kVA})} = 27,82 + 7,75 + (1,5 \times 6,00) + 26,4 = 70,97 \text{ kVA}$$

A demanda total será de

$$D = 70,97 \text{ kVA}$$

3.9.2.2 Caso de Entradas Coletivas

Consideremos a Fig. 3.21. Vemos que há várias modalidades de demanda a serem consideradas:

- Demandas individuais de cada unidade consumidora com carga instalada superior a 8,8 kW
- D_{ag} — demanda de cada agrupamento de medidores
- D_{pg} — demanda da proteção geral
- D_s — demanda de serviço
- D_r — demanda do ramal de entrada

*Para os nossos propósitos, podemos considerar 1 HP = 1 cv.

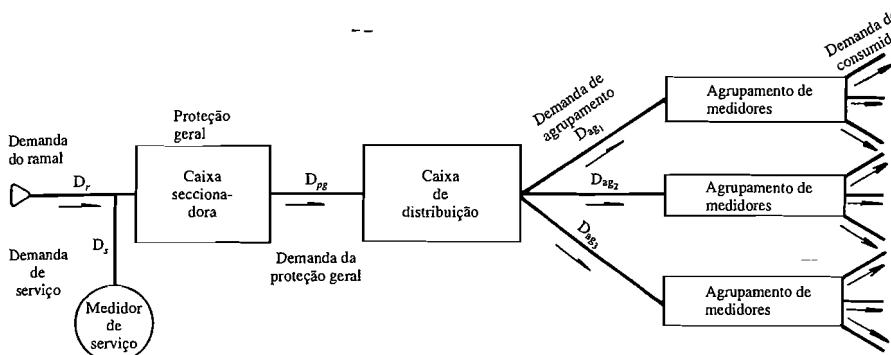


Fig. 3.21 Diagrama das demandas a considerar para entradas coletivas. Medidor de serviço antes da caixa seccional

Notas:

1. A Norma Técnica BM/7 — NT 014/79 "Sistema Elétrico de Emergência em Prédios Alimentados em Baixa Tensão", do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, estabelece que:
 - O suprimento de energia elétrica a elevadores, bombas "que recalcam redes", circuitos de iluminação e equipamentos destinados a detecção, prevenção e evacuação de prédios sob sinistro e combate ao fogo deve ser realizado através da ligação denominada "medidor de serviço", conectado *antes* do dispositivo de proteção e desligamento geral da edificação. Ver Fig. 3.21.
2. Quando não houver exigência por parte do Corpo de Bombeiros, a demanda de serviço poderá ser derivada após a proteção geral da entrada. É o que se acha representado na Fig. 3.22.

No caso de entradas coletivas, há duas hipóteses a considerar:

- o prédio tem um único agrupamento de medidores
- o prédio tem dois ou mais agrupamentos de medidores

Vejamos estes casos:

a) Prédios com um único agrupamento de medidores.

- A alimentação do medidor de serviço derivada *antes* da proteção geral.

Dessa forma, a demanda da proteção geral de entrada (D_{pg}) será sempre igual à demanda do único agrupamento de medidores existente (D_{ag}), calculada a partir da carga total instalada das unidades consumidoras, compatibilizada com as previsões

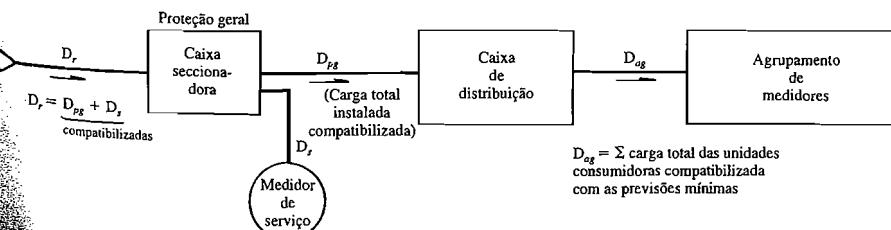


Fig. 3.22 Diagrama para prédio com um único agrupamento de medidores e medidor após a caixa seccional

mínimas. Para o cálculo da demanda do *ramal de entrada* (D_r) é que, à *carga total instalada* das unidades consumidoras do prédio, deverá ser somada a *carga instalada de serviço*, ambas compatibilizadas com as previsões mínimas.

- Sendo a alimentação do medidor de serviço derivada *após* a proteção geral (Fig. 3.22).

Nestes casos, a demanda do *ramal de entrada* (D_r) será sempre igual à demanda da proteção geral (D_{pg}) calculada a partir da soma da carga instalada de serviço com a carga instalada das unidades consumidoras, ambas compatibilizadas com as previsões mínimas. Para o cálculo da demanda do agrupamento de medidores (D_{ag}) é que será considerada apenas a *carga total* instalada das unidades consumidoras do prédio, compatibilizada com as previsões mínimas.

b) *Prédios com dois ou mais agrupamentos de medidores*. Aqui, a demanda de cada um dos agrupamentos de medidores (D_{ag}) será calculada a partir da carga total instalada das unidades consumidoras que lhe forem pertinentes, compatibilizada com as previsões mínimas.

- Com a alimentação de serviço derivada *antes* da proteção geral.

A demanda da proteção geral de entrada (D_{pg}) será o resultado da aplicação dos critérios definidos no item 3.9.2.1 ao somatório das cargas instaladas, supridas por todos os agrupamentos de medidores.

Para o cálculo da demanda do ramal de entrada (D_r) é que, ao somatório das cargas totais instaladas nos diversos agrupamentos de medidores, deverá ser acrescida a carga de serviço.

- Sendo a alimentação de serviço derivada *após* a proteção geral.

A demanda da proteção geral de entrada (D_{pg}) será sempre igual à demanda do ramal de entrada (D_r), resultado da aplicação dos critérios definidos no item 3.9.2.1 ao somatório das cargas totais instaladas nos diversos agrupamentos, acrescido da carga instalada de serviço.

■ Exercício 3.3

Calcular as diversas demandas para um prédio de 10 apartamentos, sendo:

- Área útil por apartamento — 95 m²
- Área útil destinada ao serviço — 180 m²
- Medidor de serviço conectado *após* a proteção geral de entrada
- Um único agrupamento de medidores
- Carga instalada por unidade consumidora (apartamento):

Iluminação e tomadas	4.800 W
1 chuveiro	2.500 W
1 aparelho de ar condicionado de 1 cv	746 W
Total	= 8.046 W

Como 8.046 W < 8.800 W, não é necessário calcular a demanda.

- Carga instalada de serviço

Iluminação e tomadas	4.500 W
1 elevador de 5 cv	3.730 W
1 elevador de 7,5 cv	5.595 W
2 bombas de 5 cv (uma de reserva)	3.730 W
2 bombas de 3 cv (uma de reserva)	2.238 W
Carga total de serviço	19.793 W

Como 19.793 W > 8.800 W, devemos calcular a demanda de serviço.

a) *Compatibilização da carga instalada com as previsões mínimas*.

- Por unidade consumidora (apartamento)

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$95 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 2.850 \text{ W}$$

Como 2.850 W é menor que a carga instalada de 4.800 W para iluminação e tomadas, adotaremos este último valor. Portanto,

$$\text{Carga instalada} = 4.800 \text{ W}$$

Aparelhos de aquecimento:

Carga instalada = 2.500 W

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

Mínimo previsto no item Cálculo da demanda (item 3.9.2) = 2 cv
Como 2 cv > 1 cv, adotaremos

$$\text{Carga instalada} = 2 \text{ cv}$$

• Serviço

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$180 \text{ m}^2 \times 5 \text{ W/m}^2 = 900 \text{ W}$$

Como 900 W é menor que os 4.500 W previstos, adotaremos

$$\text{Carga instalada} = 4.500 \text{ W}$$

Motores

Carga instalada

- 1 elevador de 5 cv
- 1 elevador de 7,5 cv
- 1 bomba de 5 cv
- 1 bomba de 3 cv

b) *Cálculo das demandas*:

- Demanda de serviço

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6), caso de garagens, áreas de serviço e semelhantes:

$$d'_1 = 4,5 \times 0,86 = 3,87 \text{ kVA}$$

Motores (Tabela 3.7):

2 de 5 cv	= 2 × 5,40 kVA =	10,80 kVA
1 de 7,5 cv	= 1 × 7,40 kVA =	7,40 kVA
1 de 3 cv	= 1 × 3,80 kVA =	3,80 kVA
		22,00 kVA

Pela Tabela 3.8, fator de demanda = 0,80, para os 4 motores,

$$d_5 = 22,00 \text{ kVA} \times 0,80 = 17,60 \text{ kVA}$$

Demanda de serviço D_s :

$$D_s = d'_1 + d_5 = 3,87 + 17,60 = 21,47 \text{ kVA}$$

- Demanda de agrupamento (D_{ag})

Iluminação e tomadas:

$$10 \text{ apart.} \times 4.800 = 48.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.6 temos:

$$d_1 = 1,0 (0,86 + 0,75 + 0,66 + 0,59 + 0,52 + 0,45 + 0,40 + 0,35 + 0,31 + 0,27) + (38,0 \times 0,24) = 14,28 \text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento (Tabela 3.9):

$$10 \times 2.500 \text{ W} = 25.000 \text{ W}$$

O fator de demanda para 10 aparelhos é 0,49

$$d_2 = 25 \text{ kW} \times 0,49 = 12,25 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela (Tabela 3.10):

$$10 \times 2 \text{ cv} = 20 \text{ cv}$$

A Tabela 3.10 indica que:

Para os primeiros 10 cv, o fator de demanda é 100%.
De 11 cv a 20 cv, é 0,85, de modo que temos:

$$d_3 = (10 \times 1,0) + (10 \times 0,85) = 18,50 \text{ kVA}$$

$$\begin{aligned} D_{pg} &= d_1 + d_2 + 1,5 d_3 \\ &= 14,28 + 12,25 + (1,5 \times 18,50) = 54,28 \text{ kVA} \\ D_{pg} &= 54,28 \text{ kVA} \end{aligned}$$

• Demanda da proteção geral (D_{pg})

Iluminação e tomadas:

$$\begin{aligned} \text{Apartamentos: } 10 \text{ apart} \times 4.800 \text{ W} &= 48.000 \text{ W} \\ \text{Serviço} &= 4.500 \text{ W} \end{aligned}$$

Pela Tabela 3.6 e conforme calculado para D_{pg} ,

$$d_1 = 14,28 \text{ kVA}$$

Demandas de iluminação e tomadas de serviço

$$\begin{aligned} d'_1 &= 4,5 \times 0,86 = 3,87 \text{ kVA} \\ d'_{\text{total}} &= d_1 + d'_1 = 14,28 + 3,87 = 18,15 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Aparelhos de aquecimento:

$$d_2 = 12,25 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$d_3 = 18,50 \text{ kVA}$$

Motores:

$$d_5 = 17,60 \text{ kVA}$$

A demanda de proteção geral será dada por:

$$\begin{aligned} D_{pg} &= d_{\text{total}} + d_2 + 1,5 d_3 + d_5 \\ D_{pg} &= 18,15 + 12,25 + (1,5 \times 18,50) + 17,60 = 75,75 \text{ kVA} \\ D_{pg} &= 75,75 \text{ kVA} \end{aligned}$$

• Demanda do ramal de entrada (D_r)

$$D_r = D_{pg} = 75,75 \text{ kVA}$$

■ Exercício 3.4

Calcular as demandas para um prédio de apartamentos com 30 apartamentos de sala e dois quartos (tipo 1) e 30 apartamentos de sala e três quartos (tipo 2), assim especificados:

• Área útil:

Unidade tipo 1 — 85 m²

Unidade tipo 2 — 115 m²

• Área útil destinada ao serviço — 650 m²

• Medidor de serviço conectado antes da proteção geral de entrada

• 2 agrupamentos de medidores, sendo cada agrupamento para 15 unidades do tipo 1 e 15 do tipo 2

a) Carga instalada.

• Carga instalada por unidade consumidora tipo 1 (apto. de 2 quartos)

Iluminação e tomadas — 3.900 W

1 chuveiro de 2.500 W

2 aparelhos de ar condicionado de 1 cv

Carga total = 7.892 W

Como 7.892 W < 8.800 W, não é necessário calcular a demanda.

• Carga instalada por unidade consumidora tipo 2 (apto. de 3 quartos)

Iluminação e tomadas — 5.000 W

2 chuveiros de 2.500 W

3 aparelhos de ar condicionado de 1 cv

Carga total = 12.238 W

Como 12.238 W > 8.800 W, devemos calcular a demanda.

• Carga instalada de serviço

Iluminação e tomadas — 6.000 W

2 elevadores de 10 cv

2 bombas de 5 cv (uma de reserva)

2 bombas de 2 cv (uma de reserva)

Carga total = 26.142 W. Neste caso, excluímos as bombas de reserva no cálculo da carga total.

Como 26.142 W > 8.800 W, devemos calcular a demanda de serviço.

b) Compatibilização da carga instalada com as previsões mínimas.

• Por unidade consumidora tipo 1

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$85 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 2.550 \text{ W}$$

Como 2.550 < 3.900 W, adotaremos

carga instalada = 3.900 W

Aparelho de aquecimento = 2.500 W (chuveiro elétrico)

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$2 \times 1 \text{ cv} = 2 \text{ cv} \text{ (ver 3.9.2 — Cálculo da demanda)}$$

Como 2 cv satisfazem o mínimo previsto no item Cálculo da demanda, adotaremos:

Carga instalada = 2 cv

• Por unidade consumidora tipo 2

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$115 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 3.450 \text{ W}$$

Como 3.450 W < 5.000 W, adotaremos:

Carga instalada = 5.000 W

Aparelhos de aquecimento:

$$2 \times 2.500 \text{ W} = 5.000 \text{ W}$$

Carga instalada = 5.000 W

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$3 \times 1\text{ cv} = 3\text{ cv}$, que satisfazem o mínimo previsto (ver item 3.9.2 — Cálculo da demanda)

Carga instalada = 3 cv

- Serviço

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$650\text{ m}^2 \times 5\text{ W/m}^2 = 3.250\text{ W}$$

Como 3.250 W < 6.000 W, faremos

Carga instalada = 6.000 W

Motores:

Carga instalada

2 elevadores de 10 cv

1 bomba de 5 cv

1 bomba de 2 cv

c) *Cálculo das demandas.*

- Demanda individual das unidades consumidoras tipo 2

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

A carga instalada é de 5.000 W, de modo que

$$d_1 = 1,0 (0,86 + 0,75 + 0,66 + 0,59 + 0,52) = 3,38\text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento (Tabela 3.9):

$$d_2 = 2 \times 2,5\text{ kW} \times 0,75 = 3,75\text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela (Tabela 3.10):

$$d_3 = 3 \times 1,0 = 3\text{ cv}$$

- Demanda total da unidade tipo 2

$$D = d_1 + d_2 + 1,5 d_3$$

$$D = 3,38 + 3,75 + (1,5 \times 3) = 11,63$$

$$D = 11,63\text{ kVA}$$

- Demanda de serviço

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$d_1 = 6\text{ kW} \times 0,86 = 5,16\text{ kVA}$$

Motores (Tabela 3.7):

$$2 \times 10\text{ cv} = 2 \times 9,20\text{ kVA} = 18,40\text{ kVA}$$

$$1 \times 5\text{ cv} = 5,40\text{ kVA}$$

$$1 \times 2\text{ cv} = 2,60\text{ kVA}$$

Pela Tabela 3.8,

$$d_5 = (18,40 + 5,40 + 2,60) \times 0,80 = 21,12\text{ kVA}$$

$$D_s = d_1 + d_5$$

$$D_s = 5,16 + 21,12 = 26,28\text{ kVA}$$

- Demanda de cada agrupamento ($D_{ag1} = D_{ag2}$)

Iluminação e tomadas:

$$15 \times (3.900 + 5.000) = 133.500\text{ W}$$

Pela Tabela 3.6,

$$d_1 = 1,0 \times (0,86 + 0,75 + 0,66 + 0,59 + 0,52 + 0,45 + 0,40 + 0,35 + 0,31 + 0,27) + (133,5 - 10) \times 0,24 = 5,16 + 29,64 =$$

$$d_1 = 34,80\text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento

15 da unidade tipo 1

15×2 da unidade tipo 2

Total = $15 + 30 = 45$ aparelhos

$$45 \times 2.500\text{ W} = 112.500\text{ W}$$

Pela Tabela 3.9, o fator de demanda é 0,30

$$d_2 = 112.500 \times 0,30 = 33,75\text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$15 \times (2\text{ cv} + 3\text{ cv}) = 75\text{ cv para os 75 aparelhos}$$

Pela Tabela 3.10 o fator de demanda será:

100% para os primeiros 10 cv

85% de 11 a 20 cv

80% de 21 a 30 cv

75% de 31 a 40 cv

70% de 41 a 50 cv

65% de 51 a 75 cv

60% acima de 75

Portanto,

$$d_3 = 10 \times (1,0 + 0,85 + 0,80 + 0,75 + 0,70) + (25 \times 0,65) = 57,25$$

$$d_3 = 57,25\text{ kVA}$$

$$D_{ag1} = D_{ag2} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3$$

$$= 34,80 + 33,75 + (1,5 \times 57,25) = 154,42\text{ kVA}$$

$$D_{ag1} = D_{ag2} = 154,42\text{ kVA}$$

- Demanda da proteção geral (D_p)

Iluminação e tomadas:

$$2 \times 133.500\text{ W} = 267.000\text{ W}$$

Pela Tabela 3.6,

$$d_1 = 1,0 \times 5,16 + (267 - 10) \times 0,24 = 66,84\text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento:

$$90 \times 2.500\text{ W}$$

Pela Tabela 3.9, vemos que para mais de 25 aparelhos o fator de demanda é 0,30. Logo,

$$d_2 = 90 \times 2,5 \times 0,3 = 67,5\text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$(30 \times 2) + (30 \times 3) = 60 + 90 = 150\text{ aparelhos, com total de } 150\text{ cv.}$$

Pela Tabela 3.10,

$$d_3 = 10 \times (1,0 + 0,85 + 0,80 + 0,75 + 0,70) + (25 \times 0,65) + (150 - 75) \times 0,60 =$$

$$d_3 = 102,25\text{ kVA}$$

$$D_p = d_1 + d_2 + 1,5 d_3$$

$$= 66,84 + 67,50 + (1,5 \times 102,25) = 287,71\text{ kVA}$$

- Demanda do ramal de entrada (D_r)

Iluminação e tomadas:

$$\text{residências} = 267.000\text{ W}$$

$$\text{serviço} = 6.000\text{ W}$$

Pela Tabela 3.6,

$$d_1 = [1,0 \times 5,16 + (267 - 10) \times 0,24 + (6 \times 0,86)] = 66,84 + 5,16 = 72,00\text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento:

$$90 \times 2.500\text{ W} = 225.000\text{ W}$$

Pela Tabela 3.9, o fator de demanda é 30%

$$d_2 = 90 \times 2,5 \text{ kW} \times 0,3 = 67,5\text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

150 cv

Pela Tabela 3.10,

$$d_3 = 10 \times (1,0 + 0,85 + 0,80 + 0,75 + 0,70) + (25 \times 0,65) + (75 \times 0,60) = 102,25 \text{ kVA.}$$

Motores (Tabelas 3.7 e 3.8):

$$\begin{aligned} 2 \times 10 \text{ cv} &= 2 \times 9,20 = 18,40 \text{ kVA} \\ 1 \times 5 \text{ cv} &= 1 \times 5,40 = 5,40 \text{ kVA} \\ 1 \times 2 \text{ cv} &= 1 \times 2,60 = 2,60 \text{ kVA} \\ &\hline - & 26,40 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$d_5 = 26,40 \times 0,80 = 21,12 \text{ kVA}$$

$$\begin{aligned} D_r &= d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_5 \\ &= 72,00 + 67,5 + (1,5 \times 102,25) + 21,12 = 313,99 \text{ kVA} \\ D_r &= 314 \text{ kVA} \end{aligned}$$

■ Exercício 3.5

Calcular as demandas para um prédio com 40 apartamentos de dois quartos (tipo 1), 40 apartamentos de um quarto (tipo 2) e quatro lojas, com os seguintes dados:

- Área útil
 - Por unidade tipo 1 — 85 m²
 - Por unidade tipo 2 — 65 m²
 - Por loja — 60 m²
- Área útil de serviço — 800 m²
- Medidor de serviço conectado antes da proteção geral de entrada
- 3 agrupamentos de medidores, sendo:
 - agrupamento 1 — para as 40 unidades tipo 1
 - agrupamento 2 — para as 40 unidades tipo 2
 - agrupamento 3 — para as lojas.
- Carga instalada por unidade consumidora tipo 1
 - Iluminação e tomadas — 2.800 W > 2.550 W
 - 1 chuveiro de 2.500 W
 - 2 aparelhos de ar condicionado de 1 cv — 2 × 1 cv
 - Carga total = 6.792 W
 - Como 6.792 W < 8.800 W, não é necessário calcular a demanda.
- Carga instalada por unidade consumidora tipo 2
 - Iluminação e tomadas — 2.300 W
 - 1 chuveiro de 2.500 W
 - 2 aparelhos de ar condicionado de 1 cv
 - Carga total = 6.292 W
 - Como 6.292 W < 8.800 W, não é necessário calcular a demanda.
- Carga instalada por loja
 - Iluminação e tomadas — 9.200 W
 - 1 aparelho de ar condicionado de 2 cv
 - Carga total = 10.692 W
 - Como 10.692 W > 8.800 W, devemos calcular a demanda.
- Carga instalada do serviço
 - Iluminação e tomadas — 8.600 W
 - 2 elevadores de 10 cv
 - 2 elevadores de 7,5 cv
 - 2 bombas de 5 cv (uma de reserva)
 - 2 bombas de 3 cv (1 de reserva) para águas servidas
 - 1 compactador de 2 cv
 - Carga total = 42.170 W

Como 42.170 W > 8.800 W, devemos calcular a demanda do serviço.

a) *Compatibilização da carga instalada com as previsões mínimas*

- Por unidade consumidora tipo 1
 - Iluminação e tomadas:*
 - Pela Tabela 3.6,

$$85 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 2.550 \text{ W}$$

Como 2.800 W > 2.550, temos

Carga instalada = 2.800 W

Aparelhos de aquecimento:

Carga instalada = 2.500 W

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$2 \times 1 \text{ cv} = 2 \text{ cv}$$

Como 2 cv satisfazem o mínimo previsto no item Cálculo da Demanda (item 3.9.2), temos

Carga instalada = 2 cv

• Por unidade consumidora tipo 2

- Iluminação e tomadas:*
- Pela Tabela 3.6,

$$65 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 1.950 \text{ W}$$

Mas 1.950 W < 2.200 W (sendo 2.200 W o mínimo previsto na nota 3 da Tabela 3.6 como carga para unidade consumidora). Portanto, adotaremos valor pouco acima do mínimo.

Carga instalada = 2.300 W

Aparelhos de aquecimento:

Carga instalada = 2.500 W

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$2 \times 1 \text{ cv} = 2 \text{ cv}$$

Como 2 cv satisfazem o mínimo previsto no item Cálculo da demanda (item 3.9.2), adotaremos:

Carga instalada = 2 cv

• Por loja

- Iluminação e tomadas:*
- Pela Tabela 3.6, temos:

$$60 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 1.800 \text{ W}$$

Mas na loja foram previstos 9.200 W, de modo que, como 1.800 W < 9.200 W, adotaremos:

Carga instalada = 9.200 W

Motores: 2 cv

No item Cálculo da Demanda, a previsão mínima de força por loja é de 5 cv. Mas foram considerados apenas 2 cv para o aparelho de ar condicionado tipo janela, de modo que devemos fazer uma previsão igual a 5 cv — 2 cv = 3 cv.

Carga de previsão = 3 cv

• Serviço

- Iluminação e tomadas:*
- Pela Tabela 3.6, temos:

$$800 \text{ m}^2 \times 5 \text{ W/m}^2 = 4.000 \text{ W}$$

Como 4.000 W < 8.600 W previstos no projeto, temos:

Carga instalada = 8.600 W

Motores:

Carga instalada:

2 elevadores de 10 cv

2 elevadores de 7,5 cv
1 bomba de 5 cv
1 bomba de 3 cv
1 compactador de 2 cv

b) *Cálculo das demandas*

- Demanda individual das lojas

Iluminação e tomadas:

Pela Tabela 3.6, fator de demanda = 0,86

$$d_1 = 9,2 \text{ kW} \times 0,86 = 7,91 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

Pelo item 3.9.2, Cálculo da Demanda, vemos que o fator de demanda para aparelhos de ar condicionado tipo janela em lojas é igual a 1 (100%). Logo,

$$d_3 = 1,0 \times 2 = 2 \text{ cv}$$

Motores:

No item 3.9.2.1, nota**, vemos ser necessário prever potência mínima de motor igual a 5 cv, para área da loja maior que 30 m², podendo deduzir a carga para aparelho de ar condicionado tipo janela.

No caso, teremos 5 cv - 2 cv = 3 cv

Pela Tabela 3.7, temos:

3 cv correspondem a 3,80 kVA

Pela Tabela 3.8, para um único motor, o fator de demanda é 1,0. Assim:

$$d_3 = 1,0 \times 3,80 = 3,80 \text{ kVA}$$

$$D = d_1 + 1,5 d_3 + d_5 = 7,91 + (1,5 \times 2) + 3,80 = 14,71 \text{ kVA}$$

- Demanda de serviço

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$d_1 = 8,6 \times 0,86 = 7,40 \text{ kVA}$$

Motores (Tabelas 3.7 e 3.8):

2 × 10 cv ou 2 × 9,20	= 18,40 kVA
2 × 7,5 cv ou 2 × 7,40	= 14,80 kVA
1 × 5 cv	= 5,40 kVA
1 × 3 cv	= 3,80 kVA
1 × 2 cv	= 2,60 kVA
	<hr/>
	45,00 kVA

Fator de demanda para sete motores = 0,70 (Tabela 3.8):

$$d_5 = 45,00 \times 0,7 = 31,50 \text{ kVA}$$

$$D_s = d_1 + d_5$$

$$D_s = 7,40 + 31,50 = 38,90 \text{ kVA}$$

- Demanda dos agrupamentos (D_{ag})

Agrupamento I (D_{ag} 1) (tipo 1)

Iluminação e tomadas:

$$40 \times 2.800 = 112.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.6, temos:

$$d_1 = 1,0 \times 5,16 + (112 - 10) \times 0,24$$

$$d_1 = 29,64 \text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento:

$$40 \times 2.500 \text{ W} = 100.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.9, para mais de 30 aparelhos, o fator de demanda é 0,30, logo:

$$d_2 = 100 \times 0,3 = 30 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$40 \times 2 \text{ cv} = 80 \text{ cv}$$

Pela Tabela 3.10,

$$d_3 = 10 \times (1,0 + 0,85 + 0,80 + 0,75 + 0,7) + (25 \times 0,65) + (5 \times 0,60)$$

$$d_3 = 60,25 \text{ kVA}$$

A demanda do agrupamento 1 será:

$$D_{ag1} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3$$

$$D_{ag1} = 29,64 + 30,00 + (1,5 \times 60,25)$$

$$D_{ag1} = 150,01 \text{ kVA}$$

Agrupamento 2 (D_{ag2}) (tipo 2)

Iluminação e tomadas:

$$40 \times 2.300 = 92.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.6, temos:

$$d_1 = 1,0 \times 5,16 + (92,0 - 10) \times 0,24$$

$$d_1 = 24,84 \text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento:

$$40 \times 2.500 \text{ W} = 100.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.9, o fator de demanda é igual a 0,24, pois temos mais de 30 aparelhos.

$$d_2 = 100,00 \text{ kW} \times 0,24 = 24,00 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$40 \times 2 \text{ cv} = 80 \text{ cv}$$

Pela Tabela 3.10, temos, para 80 cv:

$$d_3 = 10 \times (1,0 + 0,85 + 0,80 + 0,75 + 0,70) + (25 \times 0,65) + (5 \times 0,60) =$$

$$d_3 = 60,25 \text{ cv}$$

$$D_{ag2} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3$$

$$D_{ag2} = 24,84 + 24,00 + (1,5 \times 60,25 \text{ kVA})$$

$$D_{ag2} = 139,21 \text{ kVA}$$

Agrupamento 3 (D_{ag3}), correspondente às lojas

Iluminação e tomadas:

$$4 \times 9.200 \text{ W} = 36.800 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.6, o fator de demanda é igual a 86%.

$$d_1 = 36,8 \text{ kW} \times 0,86 = 31,65 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

$$4 \times 2 \text{ cv} = 8 \text{ cv}$$

De acordo com o item 3.9.2.1 e nota**, temos:

$$d_3 = 1,0 \times 8 \text{ cv} = 8 \text{ cv}$$

Motores (carga 5,00 cv - 2,00 cv = 3 cv para cada loja):

$$4 \times 3,0 \text{ cv, ou seja, } 4 \times 3,80 \text{ kVA}$$

Pelas Tabelas 3.7 e 3.8, temos:

$$d_s = (4 \times 3,80) \times 0,80 = 12,16 \text{ kVA}$$

$$\begin{aligned} D_{ag3} &= d_1 + 1,5 d_3 + d_s \\ &= 31,65 + (1,5 \times 8) + 12,16 \\ D_{ag3} &= 55,81 \text{ kVA} \end{aligned}$$

• Demanda da proteção geral (D_{pg})

Iluminação e tomadas:

Nas residências

$$112.000 + 92.000 = 204.000 \text{ W}$$

Nas lojas

$$36.800 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.6, temos:

$$\begin{aligned} d_1 &= [1,0 \times 5,16 + (204,0 - 10) \times 0,24] + (36,8 \times 0,86) = \\ d_1 &= 83,37 \text{ kW} \end{aligned}$$

Aparelhos de aquecimento:

$$80 \times 2.500 = 200.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.9, temos um fator de demanda 0,3 para mais de 30 aparelhos, logo:

$$d_2 = 200 \times 0,3 = 60,0 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado tipo janela:

Nas residências

$$80 \times 2 \text{ cv} = 160 \text{ cv}$$

Nas lojas

$$4 \times 2 \text{ cv} = 8 \text{ cv}$$

Pela Tabela 3.10 e item 3.9.2.1, temos:

$$\begin{aligned} d_3 &= 10 \times (1,0 + 0,85 + 0,80 + 0,75 + 0,70) + (25 \times 0,65) + \\ &\quad + (85 \times 0,60) + (1,0 \times 8) = \\ d_3 &= 116,25 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Motores:

$$4 \times 3,0 \text{ cv}$$

Pelas Tabelas 3.7 e 3.8, temos:

$$d_s = 4 \times 3,80 \times 0,8 =$$

$$d_s = 12,16 \text{ kVA}$$

$$D_{pg} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_s =$$

$$= 83,37 + 60,00 + (1,5 \times 116,25) + 12,16 =$$

$$D_{pg} = 329,91 \text{ kVA}$$

• Demanda do ramal de entrada (D_r)

Iluminação e tomadas:

Nas residências

$$112.000 + 92.000 = 204.000 \text{ W}$$

Nas lojas

$$36.800 \text{ W}$$

A demanda é igual a D_{pg} , isto é, 83,37 kW

Para serviço

$$8.600 \text{ W} —$$

$$d_1 = 83,37 + (8,6 \times 0,86)$$

$$d_1 = 90,76 \text{ kVA}$$

Aparelhos de aquecimento:

É a mesma do D_{pg}

$$d_2 = 60,00 \text{ kVA}$$

Aparelhos de ar condicionado:

É a mesma do D_{pg}

$$d_3 = 116,25 \text{ kVA}$$

Motores:

Conforme as Tabelas 3.7 e 3.8, temos:

2 × 10,0 cv	= 2 × 9,20 =	18,40 kVA
2 de 7,5 cv	= 2 × 7,40 =	14,80 kVA
1 de 5 cv	= 1 × 5,40 =	5,40 kVA
1 de 3 cv (lojas)	= 1 × 3,80 =	15,20 kVA
1 de 3 cv (bomba)	= 1 × 3,80 =	3,80 kVA
1 de 2 cv	= 1 × 2,60 =	2,60 kVA
		60,20 kVA

$$d_5 = 60,20 \text{ kVA} \times 0,7 = \underline{42,14 \text{ kVA}}$$

$$\begin{aligned} D_r &= d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_5 \\ &= 90,76 + 60,00 + 1,5 (116,25) + 42,14 = \\ D_m &= 367,27 \text{ kVA} \end{aligned}$$

■ Exercício 3.6

Calcular as demandas para um prédio de escritórios com 180 salas e nove lojas, com os seguintes dados, sendo a tensão trifásica 220 V:

• Área útil

Por sala — 32 m²

Por loja — 120 m²

• Área útil destinada ao serviço — 800 m²

• Medidores de serviço conectado antes da proteção geral de entrada

• 3 agrupamentos de medidores, sendo 1 para cada 60 salas e 3 lojas.

• Carga instalada por sala

Iluminação e tomadas: 2.000 W

Como 2.000 W < 8.800 W, não é necessário calcular a demanda.

• Carga instalada por loja

Iluminação e tomadas: 8.000 W

Como 8.000 W < 8.800 W, não é necessário calcular a demanda.

• Carga instalada de serviço

Iluminação e tomadas: 12.500 W

2 elevadores de 10 cv

2 elevadores de 15 cv
 2 bombas de 5 cv (1 reserva) para água limpa
 2 bombas de 3 cv (1 reserva) para águas servidas
 1 unidade central de condicionamento de ar, com corrente máxima de placa = 180 A servindo a todas as salas e lojas.

a) Compatibilização de carga instalada com as previsões mínimas

- Por sala

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$32 \text{ m}^2 \times 50 \text{ W/m}^2 = 1.600 \text{ W}$$

Como 2.000 W > 1.600 W adotaremos:

Carga instalada = 2.000 W

- Por loja

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$120 \text{ m}^2 \times 30 \text{ W/m}^2 = 3.600 \text{ W}$$

Carga instalada por loja: 8.000 W

Como 8.000 W > 3.600 W, adotaremos o que fora previsto:

Carga instalada = 8.000 W

Motores:

Conforme previsto no item 3.9.2.1:

Carga instalada = 5 cv

- Serviço

Iluminação e tomadas. Conforme a Tabela 3.6, temos:

$$800 \text{ m}^2 \times 5 \text{ W/m}^2 = 4.000 \text{ W}$$

Como 12.500 W > 4.000 W, adotemos a carga prevista, ou seja,

carga instalada = 12.500 W

Unidade central de condicionamento de ar:

$$\text{U.I. } \sqrt{3} = 0,220 \times 180 \times \sqrt{3} = 68,58 \text{ kVA} \text{ (Eq. 1.31)}$$

Motores:

Carga instalada:

2 elevadores de 10 cv

2 elevadores de 15 cv

1 bomba de 5 cv

1 bomba de 3 cv

b) Cálculo das demandas:

- Demanda de serviço

Iluminação e tomadas (Tabela 3.6):

$$d_1 = 12.500 \times 0,86 = 10,75 \text{ kVA}$$

Unidade central de condicionamento de ar:

Pela nota da Tabela 3.11, vemos que o fator de demanda, no caso, é de 100%

$$d_4 = 1,0 \times 68,51 = 68,58 \text{ kVA}$$

Motores (Tabelas 3.7 e 3.8):

$$2 \times 10 \text{ cv} = 2 \times 9,20 = 18,40 \text{ kVA}$$

$$2 \times 15 \text{ cv} = 2 \times 12,70 = 25,40 \text{ kVA}$$

$$1 \times 5 \text{ cv} = 1 \times 5,40 = 5,40 \text{ kVA}$$

$$1 \times 3 \text{ cv} = 1 \times 3,80 = 3,80 \text{ kVA}$$

$$\underline{53,00 \text{ kVA}}$$

$$d_5 = 53,00 \times 0,70 = 37,10 \text{ kVA}$$

$$D_s = d_1 + d_4 + d_5 \\ = 10,75 + 68,51 + 37,10 = 116,36 \text{ kVA}$$

- Demanda de cada agrupamento ($D_{ag1} = D_{ag2} = D_{ag3}$)

Iluminação e tomadas:

Nas salas de escritórios

$$60 \text{ salas} \times 2.000 \text{ W} = 120.000 \text{ W} = 120 \text{ kW}$$

Nas lojas

$$3 \times 8.000 = 24.000 \text{ W}$$

Pela Tabela 3.6, temos

$$d_1 = [(0,86 \times 20) + (0,70 \times 100)] + (0,86 \times 24) = \\ = 107,84 \text{ kVA}$$

Motores (conforme Tabelas 3.7 e 3.8):

$$3 \text{ lojas} \times 5 \text{ cv} = 3 \times 5,40 = 16,20 \text{ kVA}$$

$$d_5 = 16,20 \times 0,80 = 12,96 \text{ kVA}$$

- Demanda da proteção geral (D_{pg})

Iluminação e tomadas:

Nas salas de escritórios

$$3 \times 120.000 \text{ W} = 360.000 \text{ W} = 360 \text{ kW}$$

Nas lojas

$$3 \times 24.000 = 72.000 \text{ W} = 72 \text{ kW}$$

De acordo com a Tabela 3.6,

$$d_1 = [(20 \times 0,86) + (340 \times 0,70)] + (72 \times 0,86) = \\ = 317,12 \text{ kVA}$$

Motores (Tabelas 3.7 e 3.8):

$$9 \text{ (lojas)} \times 5 \text{ cv} = 9 \times 5,40 = 48,6 \text{ kVA}$$

$$d_5 = (48,6 \times 0,70) = 34,02 \text{ kVA}$$

$$D_{pg} = d_1 + d_5 \\ = 317,12 + 34,02 = 351,14 \text{ kVA}$$

- Demanda do ramal de entrada (D_e)

Iluminação e tomadas:

Nas salas de escritórios

$$360.000 \text{ W} = 360 \text{ kW}$$

Nas lojas

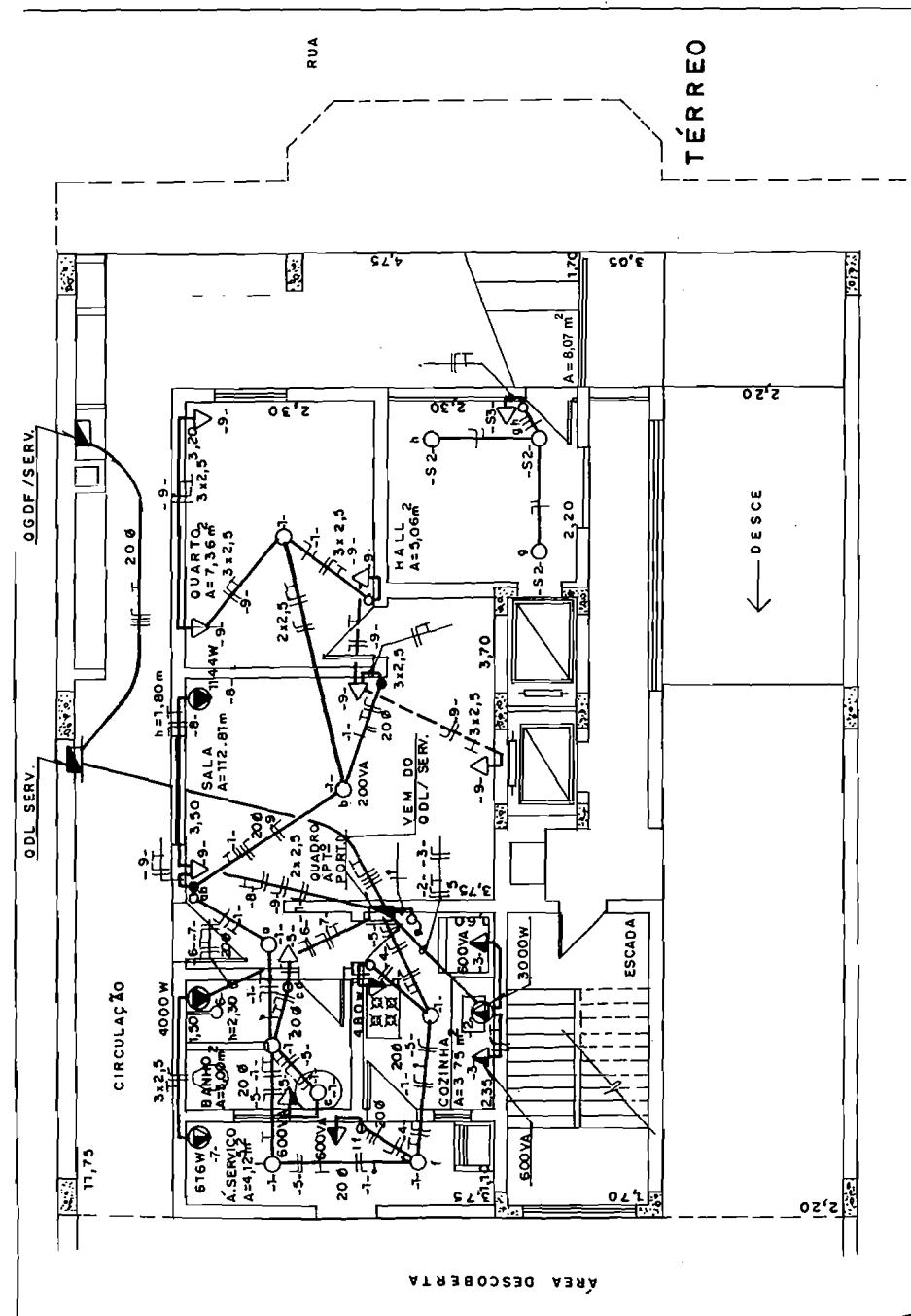
$$72.000 \text{ W} = 72 \text{ kW}$$

A demanda das salas e lojas já calculamos anteriormente para o D_{pg} , e é igual a 317,12 kVA.

Temos então:

$$d_1 = 317,12 + (12,5 \text{ kW} \times 0,86) =$$

$$d_1 = 327,87 \text{ kVA}$$



Unidade central de condicionamento de ar:

$$d_4 = 68,51 \text{ kVA}$$

Motores (conforme Tabelas 3.7 e 3.8):

$2 \times 10 \text{ cv}$	$= 2 \times 9,20 =$	$18,40 \text{ kVA}$
$2 \times 15 \text{ cv}$	$= 2 \times 12,70 =$	$25,40$
$9 \times 5 \text{ cv} (\text{lojas})$	$= 9 \times 5,40 =$	$48,60$
$1 \times 5 \text{ cv} (\text{bombas})$	$= 1 \times 5,40 =$	$5,40$
$1 \times 3 \text{ cv}$	$= 1 \times 3,80 =$	$3,80$
Total		$101,60 \text{ kVA}$

$$d_s = 101,60 \times 0,7 = 71,12 \text{ kVA}$$

$$D_r = d_1 + d_4 + d_s$$

$$D_r = 327,87 + 68,51 + 71,12$$

$$D_r = 467,5 \text{ kVA}$$

■ Exemplo 3.4 Instalação elétrica de uma unidade residencial (Fig. 3.23).

Dados iniciais:

- Alimentação com F-N, 127/220 V.
- Planta de arquitetura em escala 1:50.
- Iluminação incandescente ($\cos \varphi = 1$).
- Tomadas de uso geral ($\cos \varphi = 0,8$).
- Tomadas de uso específico previstas para:
 - Chuveiro elétrico (banheiro) — 4.000 W; $\cos \varphi = 1$
 - Torneira elétrica (cozinha) — 3.000 W; $\cos \varphi = 1$
 - Máquina de lavar roupa (área de serviço) — 770 VA; $\cos \varphi = 0,8 \rightarrow 616 \text{ W}$
 - Ar condicionado tipo janela (sala) — 1 cv → 1.430 VA; $\cos \varphi = 0,8 \rightarrow 1.144 \text{ W}$
- Instalação no esquema TN (ver item 4.7 — Aterramento).

Memória de cálculo segundo prescrições da NBR 5410/1997 (ver item 3.5 deste livro — Estimativa de Carga)

Tabela 3.13a

Potência instalada	(1) Iluminação
Entrada Banheiro Cozinha Área de serviço	$A < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 100 \text{ VA} \text{ em cada dependência}$
Sala	$12,81 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 2,81 \text{ m}^2$ \downarrow $100 \text{ VA} \times 60 \text{ VA} = 160 \text{ VA}$
Quarto	$7,36 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 1,36 \text{ m}^2$ \downarrow $100 \text{ VA} = 100 \text{ VA}$

Tabela 3.13b

Potência instalada	(2) Tomadas de uso geral (TUGs)
Entrada Banheiro Área de serviço	$S < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 1 \text{ TUG de } 100 \text{ VA na entrada e}$ $1 \text{ de } 600 \text{ VA no banheiro e área de serviço}$
Sala	$\frac{14,5 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 2,9 \rightarrow 3 \text{ TUGs}$ $3 \times 100 \text{ VA} = 300 \text{ VA}$
Quarto	$\frac{11 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 2,2 \rightarrow 3 \text{ TUGs}$ $3 \times 100 \text{ VA} = 300 \text{ VA}$
Cozinha	$\frac{7,90 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} = 2,2 \rightarrow 3 \text{ TUGs}$ $3 \times 600 \text{ VA} = 1.800 \text{ VA}$

Obs.: Estas tabelas se referem às condições *mínimas*, estabelecidas pela NBR 5410/1997. Para sala, quarto e cozinha foi utilizado o perímetro dessas dependências como referência.

Após esses cálculos preliminares, chegamos a:

Tabela 3.14 Memória de cálculo de uma unidade residencial (Exercício 3.4)

Dependência	Dimensões		Potência de iluminação (W)	Tomadas de uso geral (TUGs)		Tomadas de uso específico (TUEs)	
	Área (m ²)	Perímetro (m)		Quant.	Potência (VA)	Discriminação	Potência (W)
Entrada	1,20	—	100	1	100	—	—
Sala	12,81	14,50	200	3	300	Ar condicionado tipo janela (1 cv)	1.144
Quarto	7,36	11,00	100	3	300	—	—
Banheiro	3,00	—	200	1	600	Chuveiro	4.000
Cozinha	3,76	7,90	100	3	1.800	Torneira elétr.	3.000
Área serv.	4,12	9,70	100	1	600	Máquina de lavar	616
Total	32,25	—	800	12	3.700	—	8.760

Tabela 3.15 Divisão em circuitos

Circuitos terminais (CTs)	U	P (VA)	I _B = (A)	f	I _{B'} = $\frac{I_B}{f}$ (A)	S (mm ²)		(A)	Discriminação
						Vivos	In PE		
1	127	800	6,3	0,8	9,0	1,5	1,5	10	Entrada, sala, quarto, banheiro, área de serviço (iluminação)
2	220	3.000	13,6	0,8	17,0	2,5	2,5	15	TUE (torneira cozinha) —
3	127	1.200	9,4	0,8	11,7	2,5	2,5	15	TUGs (cozinha)
4	127	1.200	9,4	0,8	11,7	2,5	2,5	15	TUGs (cozinha, área de serviço)
5	127	700	5,5	0,8	6,8	2,5	2,5	15	TUGs (banheiro, entrada)
6	220	4.000	18,2	0,8	22,7	4,0	4,0	25	TUE (chuveiro elétrico — banheiro)
7	127	770	6,1	0,8	7,6	2,5	2,5	15	TUE (máq. lavar)
8	127	1.430	11,2	0,8	14,0	2,5	2,5	15	TUE (ar cond. janela)
9	127	600	4,7	0,8	5,8	2,5	2,5	15	TUGs (sala e quarto)
10	—	1.000	—	—	—	—	—	—	Reserva

NOTA: Os circuitos de tomadas são independentes da iluminação, como recomenda a NBR 5410/1997.

Em resumo:

Potência instalada para iluminação = 800 W (1 circ.)
 Potência de tomadas de uso geral = $3.700 \times 0,8 = 2.960 \text{ W}$ (3 circ.)
 Potência de tomadas de uso especial = 8.760 W (4 circ.)
 Potência reserva = 1.000 W

Total 13.520 W (circuitos + reserva)

Densidade elétrica: $\frac{13.520}{32,25} = 419,2 \text{ W/m}^2$

Esta densidade elétrica é elevada em relação ao mínimo exigido. O valor elevado explica-se pela consideração da utilização simultânea de todas as cargas de dispositivos previstos, tais como: torneira elétrica na cozinha, chuveiro elétrico, máquina de lavar e aparelho de ar condicionado.

INSTALAÇÕES PARA ILUMINAÇÃO E APARELHOS DOMÉSTICOS

Organizamos uma lista de carga distribuindo-a pelas três fases. É o que se acha apresentado na Tabela 3.16. Procuramos distribuir a carga pelas três fases, uma vez que, sendo a potência instalada maior que 8.800 W, a alimentação deverá ser feita com 3 F + N.

Potência de alimentação, isto é, demanda para cálculo de alimentador, do quadro QDL/SERV ao quadro terminal do apartamento no térreo (ver Fig. 3.23).

Como a carga instalada de 13.520 W é maior que 8.800 W, teremos que calcular a demanda.

$$\text{Potência instalada: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Iluminação: } 800 \text{ W} \\ \text{Tomadas uso geral: } 2.960 \text{ W} \\ \text{Reserva: } 1.000 \text{ W} \\ \hline 4.760 \text{ W} \end{array} \right.$$

$$\text{Potência instalada: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Torneira elétrica: } 3.000 \text{ W} \\ \text{Chuveiro elétrico: } 4.000 \text{ W} \\ \text{Máquina de lavar: } 770 \times 0,8 = 616 \text{ W} \\ \text{Ar cond. janela: } 1.430 \times 0,8 = 1.144 \text{ W} \end{array} \right.$$

Cálculo da demanda:

$$D(\text{kVA}) = d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_5$$

Demandas para iluminação e tomadas (Tabelas 3.6):

$$d_1 = 1(0,86 + 0,75 + 0,66 + 0,59) + (4,76 - 4)(0,52) = 3,25 \text{ kVA}$$

Demandas para aparelhos de aquecimento de água (ver Tabela 3.9):

Conforme a Tabela 3.9, para dois aparelhos (chuveiro e torneira), teremos um fator de demanda de 0,75.

$$d_2 = 7 \text{ kW} \times 0,75 = 5,25 \text{ kVA}$$

Demandas para ar condicionado tipo janela:

Da Tabela 3.10, vemos que para um aparelho o fator de demanda é de 100%:

$$d_3 = 1 \times 1 \text{ cv} = 1 \text{ cv}$$

Demandas para motores elétricos:

Máq. lavar: P = 770 VA → 616 W

$$\text{Da Tabela 3.7, vemos que: } \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ cv} \longrightarrow 736 \text{ W} \\ X \longrightarrow 616 \text{ W} \end{array} \right. \rightarrow X = 0,84 \text{ cv}$$

Tabela 3.16 Carga dos circuitos e o equilíbrio das fases

Circuito	Fase A (W)	Fase B (W)	Fase C (W)	Total (W)
1	800	—	—	
2	—	1.500	1.500	
3	960	—	—	
4	—	960	—	
5	—	—	560	
6	2.000	—	2.000	
7	616	—	—	
8	—	1.114	—	
9	—	—	480	
10	—	1.000	—	
Total	4.376	4.604	4.540	13.520

$$\left| \begin{array}{l} \frac{3/4 \text{ cv}}{1,24 \text{ kVA}} \\ 1 \text{ cv} \longrightarrow 1,43 \text{ kVA} \end{array} \right. \rightarrow 0,84 \text{ cv} \approx 1,3 \text{ kVA}$$

Então, conforme a Tabela 3.8, para 1 motor f = 100%:

$$d_5 = 1 \times 1,3 \text{ kVA} = 1,3 \text{ kVA}$$

Logo, a demanda da unidade residencial será:

$$D(\text{kVA}) = 3,25 + 5,25 + 1,5 \times 1 + 1,3 = 11,3 \text{ kVA}$$

Vemos que a potência de alimentação é superior a 8.800 W, de modo que a alimentação deverá ser fornecida em três fases e neutro.

A corrente em cada fase será:

(admitindo $\eta = 1$)

$$I_a = \frac{P_a}{\sqrt{3} \times 220 \times 1} = \frac{11.300}{\sqrt{3} \times 220} = 29,65 \text{ A}$$

$$I_a = \frac{P_a}{\sqrt{3} \times V_{FF} \times \eta}$$

3.11

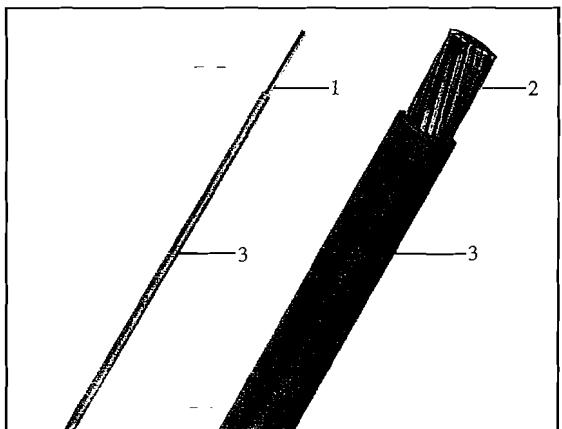
Condutores Elétricos — Dimensionamento e Instalação

4.1 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Condutor elétrico é um corpo constituído de material bom condutor, destinado à transmissão da eletricidade. Em geral é de cobre eletrolítico e, em certos casos, de alumínio.

Fio é um condutor sólido, maciço, de seção circular, com ou sem isolamento.

Cabo é um conjunto de fios encordados, não isolados entre si. Pode ser isolado ou não, conforme o uso a que se destina. É mais flexível que um fio de mesma capacidade de carga.

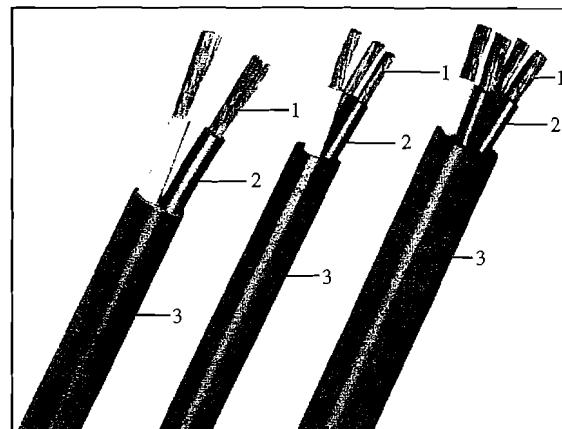


Construção:

- 1) Condutor (fio) sólido de cobre eletrolítico nu, témpera mole.
- 2) Condutor (cabو) formado por fios de cobre eletrolítico nu, témpera mole.
- 3) Isolação de PVC (70°C) composto termoplástico de cloreto de polivinila, tipo BWF, com características especiais quanto à não-propagação e auto-extinção do fogo.

Fig. 4.1 Fio e cabo Noflam BWF 750 V, da Ficap

Com freqüência, os eletrodutos conduzem os condutores de fase, neutro e terra, simultaneamente. Esses condutores são eletricamente isolados com o revestimento de material mau condutor de eletricidade, e que constitui a *isolação* do condutor. Um *cabo isolado* é um cabo que possui isolamento. Além da isoliação, recobre-se com uma camada denominada *cobertura* quando os cabos devem ficar em instalação exposta, colocados em bandejas ou diretamente no solo.



Construção:

- 1) Condutor flexível formado por fios de cobre eletrolítico nus, témpera mole.
- 2) Isolação de PVC (70°C) — composto termoplástico de cloreto de polivinila flexível, em cores diferentes para identificação.
- 3) Cobertura de PVC — composto termoplástico de cloreto de polivinila flexível na cor preta.

Fig. 4.2 Cabo Superflex 750 V, da Ficap

Os cabos podem ser:

- unipolares, quando constituídos por um condutor de fios trançados, com cobertura isolante protetora (Fig. 4.2).
- multipolares, quando constituídos por dois ou mais condutores isolados, protegidos por uma camada protetora de cobertura comum (Fig. 4.3).



Fig. 4.3 Cabo com isoliação e cobertura Superflex 750 V, da Ficap. Condutores formados por fios de cobre eletrolítico

EXEMPLO

A Pirelli fabrica cabos uni e multipolares *Sintenax Econax*. A Ficap produz os cabos unipolares *Noflam BWF 750 V* e multipolares *Superflex 750 V*.

Seção nominal de um fio ou cabo é a área da seção transversal do fio ou da soma das seções dos fios componentes de um cabo. A seção de um condutor a que nos referimos não inclui a isoliação e a cobertura (se for o caso de possuir cobertura).

Até o ano de 1982, para a caracterização das bitolas, usava-se no Brasil a escala AWG/CM (American Wire Gauge — circular mil). A AWG é baseada numa progressão geométrica de diâmetros expressos em polegadas até a bitola 0000 (4/0). Acima desta bitola, as seções são expressas em *circular mils* — CM ou múltiplo de *mil circular mils* — MCM. Um *mil* é a abreviatura de 1 milésimo quadrado de polegada: $1\text{ CM} = 5,067 \times 10^{-6}\text{ cm}^2$.

A partir de dezembro de 1982, a Norma Brasileira NB-3 da ABNT foi reformulada, recebendo do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) a designação de NBR 5.410:1980, foi posteriormente substituída pela 5.410:1990. Em atualização constante, está em vigor a NBR 5.410:1997. Nesta Norma, os condutores

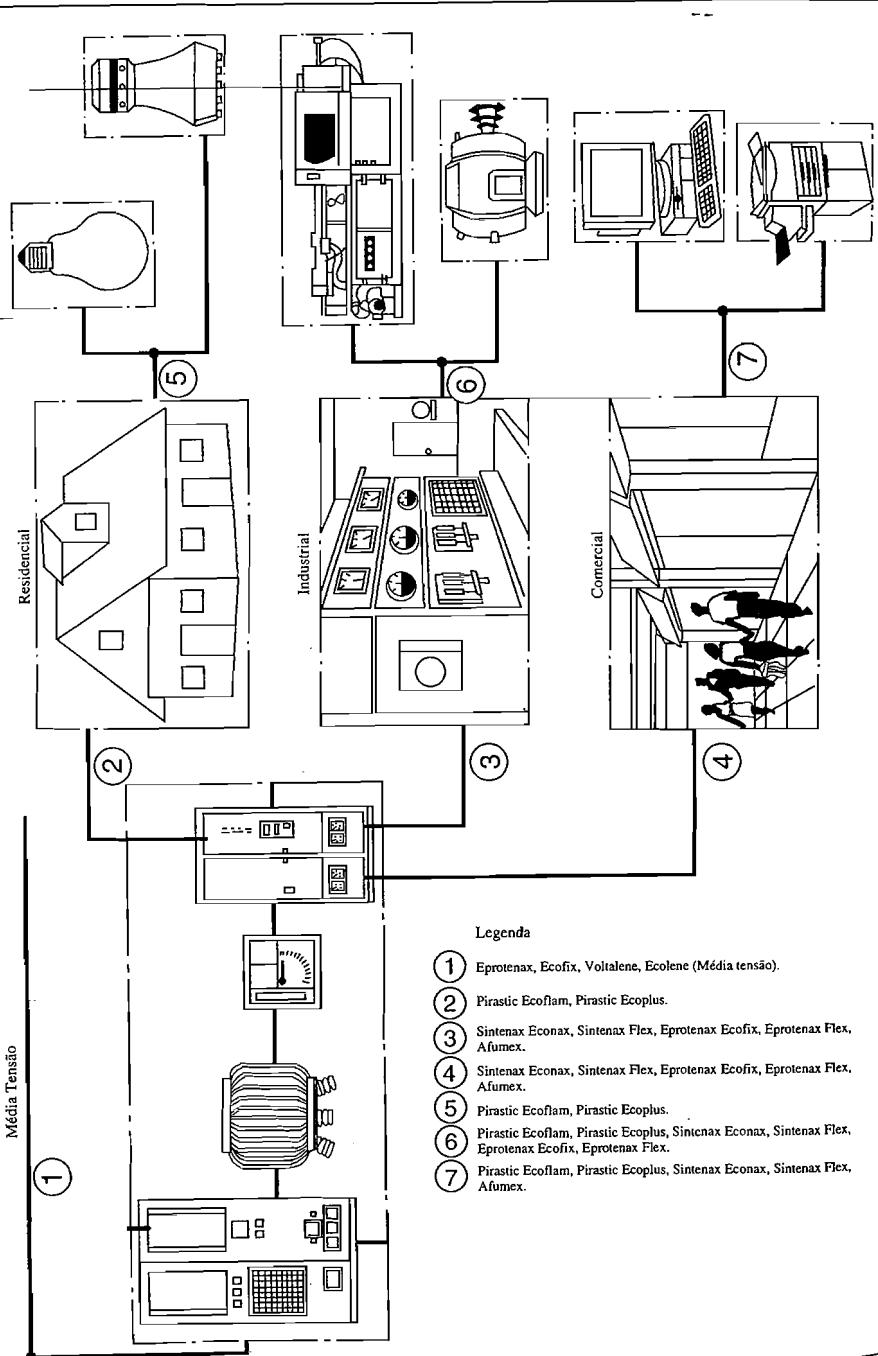


Fig. 4.4 Fios e cabos elétricos. Fabricante: Pirelli

elétricos são especificados por sua seção em milímetros quadrados (mm^2), segundo a escala padronizada, série métrica da IEC (International Electrotechnical Commission). A seção nominal de um cabo multipolar é igual ao produto da seção do condutor de cada veia pelo número de veias que constituem o cabo.

MATERIAL

- Em *instalações residenciais* só podem ser empregados condutores de cobre, exceto condutores de aterramento e proteção.
- Em *instalações comerciais* é permitido o emprego de condutores de alumínio com seções iguais ou superiores a 50 mm^2 .
- Em *instalações industriais* podem ser utilizados condutores de alumínio, desde que sejam obedecidas simultaneamente as seguintes condições:
 - Seção nominal dos condutores seja $\geq 16 \text{ mm}^2$.
 - Potência instalada seja igual ou superior a 50 kW.
 - Instalações e manutenção qualificadas.

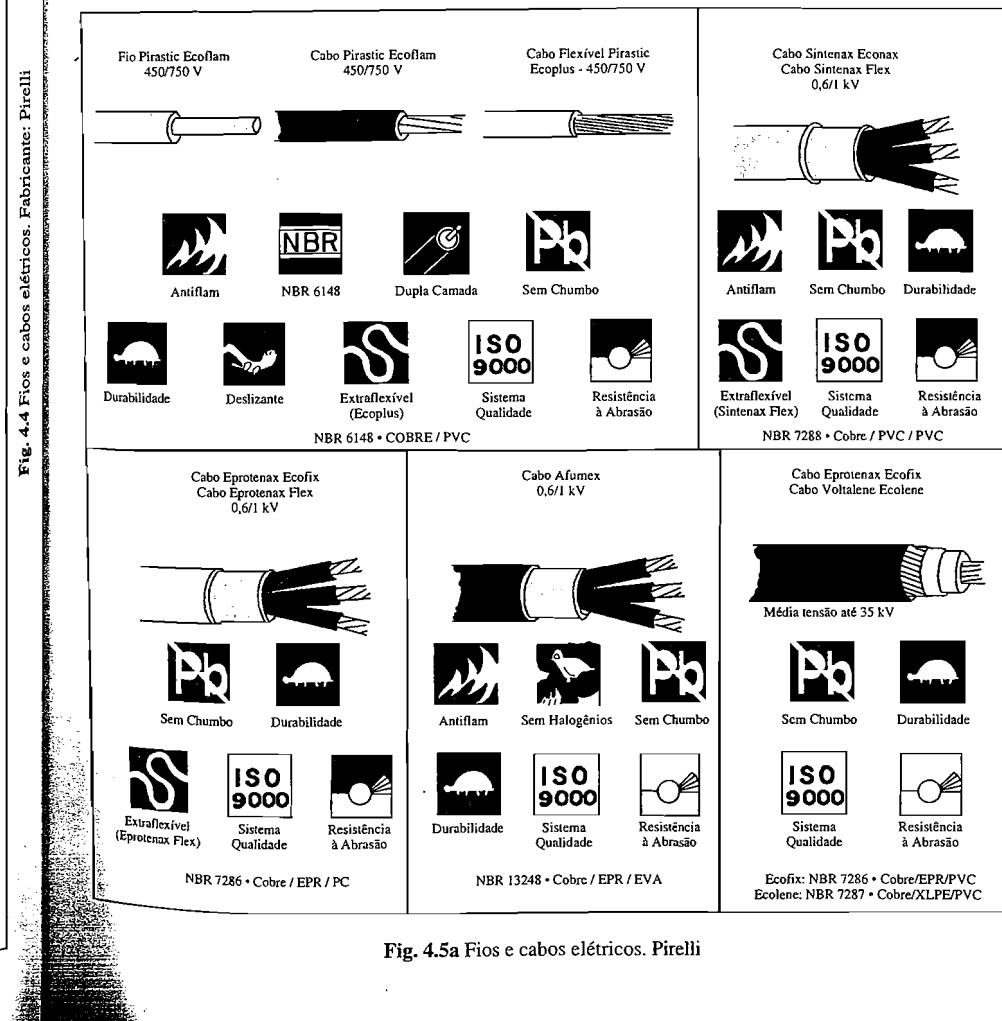


Fig. 4.5a Fios e cabos elétricos. Pirelli

4.2 SEÇÕES MÍNIMAS DOS CONDUTORES

SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR NEUTRO

O condutor neutro deve possuir a mesma seção que o(s) condutor(es) fase nos seguintes casos:

- Em circuitos monofásicos e bifásicos, qualquer que seja a seção.
- Em circuitos trifásicos, quando a seção do condutor fase for inferior ou igual a 25 mm², em cobre ou em alumínio.

Tabela 4.1a Seções mínimas dos condutores

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

Notas:

a) Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos, são admitidas seções de até 0,1 mm².

b) Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias, são admitidas seções de até 0,1 mm².

c) Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.

- c) Em circuitos trifásicos, quando for prevista a presença de harmônicos*, qualquer que seja a seção.

Tabela 4.1b Seção do condutor neutro, em relação ao condutor fase

Seções de condutores fase (mm ²)	Seção mínima do condutor neutro (mm ²)
De 1,5 a 25 mm ²	Mesma seção do condutor fase
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Notas:

a) Os valores acima são aplicáveis quando os condutores fase e o condutor neutro forem constituídos pelo mesmo metal.

b) Em nenhuma circunstância o condutor neutro pode ser comum a vários circuitos.

*Favor ver definição no Cap. 9, deste livro.

4.3 TIPOS DE CONDUTORES

Trataremos neste capítulo dos condutores para baixa tensão (0,6 kV - 0,75 kV - 1 kV).

Em geral, os fios e cabos são designados em termos de seu comportamento quando submetidos à ação do fogo, isto é, em função do material de sua isolação e cobertura. Assim, os cabos elétricos podem ser:

Propagadores de chama. São aqueles que entram em combustão sob a ação direta da chama e a mantêm mesmo após a retirada da chama. Pertencem a esta categoria o etilenopropileno (EPR) e o polietileno reticulado (XLPE).

Não-propagadores de chama. Removida a chama ativadora, a combustão do material cessa. Considera-se o cloreto de polivinila (PVC) e o neoprene não-propagadores de chama.

Resistentes à chama. Mesmo em caso de exposição prolongada, a chama não se propaga ao longo do material isolante do cabo. É o caso dos cabos Sintenax Antiflam, da Pirelli, e Noflam BWF 750 V, da Ficap.

Resistentes ao fogo. São materiais especiais incombustíveis, que permitem o funcionamento do circuito elétrico mesmo em presença de um incêndio. São usados em circuitos de segurança e sinalizações de emergência.

No Brasil, fabrica-se uma linha de cabos que têm as características anteriormente descritas. A Pirelli chamou-os de cabos Afumex, e a Ficap, Afitox. No caso dos cabos de potência, a temperatura de exercício no condutor é de 90°C, a temperatura de sobre-carga é de 130°C e de curto-circuito, de 250°C.

Vejamos as características principais dos fios e cabos mais comumente usados e que são apresentados de forma resumida em tabelas.

DA PIRELLI

As Figs. 4.4, Fig. 4.5a, Fig. 4.5b e Tabela 4.2 apresentam as características principais dos fios e cabos para baixa tensão e as recomendações do fabricante quanto às modalidades de instalação aconselháveis para os vários tipos de cabos.

DA FICAP

As Fig. 4.6a e Fig. 4.6b mostram também, de modo resumido, as características dos fios e cabos para usos comuns em baixa tensão.

4.4 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

Após o cálculo da intensidade da corrente de projeto I_p de um circuito (item 3.7), procede-se ao dimensionamento do condutor capaz de permitir, sem excessivo aquecimento e com uma queda de tensão predeterminada, a passagem da corrente elétrica. Além disso, os condutores devem ser compatíveis com a capacidade dos dispositivos de proteção contra sobrecarga e curto-circuito.

Uma vez determinadas as seções possíveis para o condutor, calculadas de acordo com os critérios referidos, escolhe-se em tabela de capacidade de condutores, padronizados e comercializados, o fio ou cabo cuja seção, por excesso, mais se aproxime da seção calculada.

Em circuitos de distribuição de apartamentos, em geral, é suficiente a escolha do condutor com base no critério de não haver aquecimento indesejável. Pode-se simplesmente usar as Tabelas 4.5a e 4.5b.

Em circuitos de iluminação de grandes áreas industriais, comerciais, de escritórios e nos alimentadores nos quadros terminais, calcula-se a seção dos condutores segundo os critérios do aquecimento e da queda de tensão. Nos alimentadores principais e secundários de elevada carga ou de alta tensão, deve-se proceder à verificação da seção mínima para atender à sobrecarga e à corrente de curto-circuito.

Tabela 4.2 Fios e cabos rígidos

		Nome	Bitola	Tipo	Isolação	Cobertura	Tensão Nominal	Temp. uso Contínuo	Temp. Sobrecarga	Temp. Curt. Circ.
Fios e Cabos		Pirastic Ecoflam BWF	Fios até 10 mm² Cabos até 500 mm²	Condutor Isolado	PVC	—	450/750 V	70 °C	100 °C	160 °C
Cabo Flexível		Ecoplus BWF Antiflam Pirastic	Até 240 mm²	Condutor Isolado	PVC	—	450/750 V	70 °C	100 °C	160 °C
Cabos		Sintenax Econax Antiflam	Até 1 × 1000 mm² ou 4 × 300 mm²	Unipolar Multipolar	PVC	PVC	0,6/1 kV	70 °C	100 °C	160 °C
Cabos		Voltalene Ecolene	Até 1 × 1000 mm² ou 3 × 300 mm²	Unipolar Tripolar	XLPE Polietileno Reticulado	—	0,6/1 kV	90 °C	130 °C	250 °C
Cabos		Eprotenax Ecofux	Até 1 × 500 mm² ou 3 × 300 mm² / 4 × 50 mm²	Unipolar Multipolar	Termofixo EPR/B	PVC	0,6/1 kV	90 °C	130 °C	250 °C
Cabos		Eprotenax Flex	Até 1 × 240 mm² ou 3 × 240 mm² / 4 × 240 mm²	Unipolar Multipolar	EPR/B	PVC	0,6/1 kV	90 °C	130 °C	250 °C
Cabos		Afumex	Até 1 × 300 mm² ou 4 × 35 mm²	Unipolar Multipolar	EPR/B	—	0,6/kV	90 °C	130 °C	250 °C
Cabos		PP-Cord Plast.	Até 4 × 10 mm²	Multipolar	PVC	PVC	450/750 V	70 °C	100 °C	160 °C
Cabos		PB-Termocord	Até 4 × 10 mm²	Multipolar	PVC	PVC	450/750 V	70 °C	100 °C	160 °C

Tipos de Linhas Elétricas	Cabos Recomendados					Suporte	Espaço de Construção	Não Permitido	Não Permitido	Não Permitido
	Fio Pirastic Ecoflam	Cabo Sintenax Flex	Cabo Eprotenax Flex	Cabo Afumex	Cabo Pirastic Ecoflam					
Eletroduto Aparente Eletroduto em Alvenaria	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓
Eletrocalha	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓
Bandeja / Leito	Não Permitido	✓	✓	✓				✓	✓	✓

Fig. 4.5b Fios e cabos recomendados. Fabricante Pirelli

Cabo	Nome	Aplicação	Condutor	Isolação	Tensão	Norma NBR
	Fios e Cabos Noflam Antiflama	Instalações Industriais, Residenciais e Comerciais.	Cobre	PVC (70 °C)	750 V	614 8
	Cabos Conduflex	Alimentação de Máquinas e Equipamentos Móveis Portáteis, de Pequeno Pente.	Cobre	PVC (70 °C)	750 V	8 762
	Cordão Torcido e Cordão Paralelo	Alimentação de Aparelhos Máquinas Portáteis, Lustres e Luminárias Pendentes.	Cobre	PVC (70 °C)	300 V	132 40
	Cabo TPK 105 °C	Para Lides Internas de Motores e Outros Tipos de Equipamentos.	Cobre	PVC (70 °C)	750 V	9117
	Cabos Chumbo BWF	Instalações Internas, Aparentes, ao Longo de Paredes ou Forros.	Cobre	PVC (70 °C)	750 V	8661
	Fio e Cabo WPP	Sistemas de Distribuição em Linhas de Distribuição.	Cobre ou Alumínio			6524
	Cabo Vinil	Sistema de Distribuição Subterrânea, Instalação em Sistemas Residenciais Urbanos, Comerciais, Industriais, Estações Geradoras e de Distribuição Secundária.	Cobre	PVC (70 °C)	0,6/1 kV	7288

Fig. 4.6a Ficap — Linha básica para baixa tensão

4.4.1 ESCOLHA DO CONDUTOR SEGUNDO O CRITÉRIO DO AQUECIMENTO

O condutor não pode ser submetido a um aquecimento exagerado provocado pela passagem da corrente elétrica, pois a isoliação e a cobertura do mesmo poderiam ser danificadas. Entre os fatores que devem ser considerados na escolha da seção de um fio ou cabo, supostamente operando em condições de aquecimento normais, destacam-se:

- o tipo de isoliação e de cobertura do condutor;
- o número de condutores carregados, isto é, de condutores vivos, efetivamente percorridos pela corrente;
- a maneira de instalar os cabos;
- a proximidade de outros condutores e cabos;
- a temperatura ambiente ou a do solo (se o cabo for enterrado diretamente no mesmo).

4.4.1.1 Tipo de Isolação

Em primeiro lugar, temos que escolher o *tipo de isolação*, de acordo com as temperaturas de regime constante de operações e de sobrecarga. Podemos usar a Tabela 4.3. Em instalações prediais convencionais, usa-se, em geral, os fios e cabos com isolação de PVC.

Tabela 4.3 Temperaturas admissíveis no condutor, supondo a temperatura ambiente de 30°C

	Temperatura de operação em regime contínuo	Temperatura de sobrecarga	Temperatura de curto-circuito
PVC Cloreto de polivinila	70°C	100°C	160°C
PET Polietileno	70°C	90°C	150°C
XLPE Polietileno reticulado	90°C	130°C	250°C
EPR Borracha etileno propileno	90°C	130°C	250°C

4.4.1.2 Número de Condutores a Considerar

Podemos ter:

- 2 condutores carregados: *F-N* (fase-neutro) ou *F-F* (fase-fase).
- 3 condutores carregados. Apresentam-se como:

- a) *2F-N*;
- b) *3F*;
- c) *3F-N* (supondo o sistema de circuito equilibrado).

- 4 condutores carregados. Será:

3F-N.

É o caso, por exemplo, de circuito alimentando quadro terminal cuja potência exige alimentação trifásica com neutro.

4.4.1.3 Maneira Segundo a qual o Cabo Será Instalado

Pela Tabela 4.4 identificamos a “letra” e o “número” correspondentes à maneira de instalação do cabo. Por exemplo: se tivermos condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria, o código será B1-7.

4.4.1.4 Bitola do Condutor Supondo uma Temperatura Ambiente de 30°C

Entramos com o valor da corrente (ampères) na Tabela 4.5, se a proteção for de PVC para 70°C, e na Tabela 4.6 se for de etileno-propileno (EPR) ou polietileno termo-fixo (XLPE) para 90°C. Obtemos, assim, a bitola do condutor. Ao entrarmos com o valor da corrente de projeto I_p na tabela, devemos considerar se os condutores são de cobre ou de alumínio; se são dois ou três condutores; e se a maneira de instalar corresponde às letras da Tabela 4.4 com seus respectivos números, quando houver.

Tabela 4.4a Tipos de linhas elétricas (NBR 5410:1997)

Cabo	Nome	Aplicação	Condutor	Isolação	Tensão	Norma NBR
	Cabo FIBEP	Sistemas de Distribuição Subterrânea Instalação em Sistemas Residenciais Urbanos, Comerciais, Industriais para o Transporte de Grandes Blocos de Potência, com Grande Confiabilidade Proporcionada pela Elevada Estabilidade Térmica de Isolações Termofixas.	Cobre	EPR (90 °C)	0,6/1 kV	7286
	Cabo FIPEX			XLPE (90 °C)		7287
	FICOM	Circuitos de Comando Controle, Proteção e Sinalização até 1 KV.	Cobre	PVC (70 °C)	Até 1 kV	7289
	FICOM EPT			EPR (90 °C)		7290
	Cabo FIBEP AFITOX	Cabos não Hologenados para Locais onde haja Riscos de Incêndio, com Alta Densidade de Ocupação Populacional e/ou Condições de Fuga Difícil, Conforme NBR 5410.	Cobre	EPR-AFITOX (90 °C)	0,6/1 kV	13248
	Cabo AFITOX SM	Cabos não Halogenados para Circuitos de Segurança Máxima, de Potência ou Controle que devem Operar em Condições de Incêndio, Conforme NBR 5410.	Cobre	EPR-AFITOX (90 °C)	Até 1 kV	13418

Fig. 4.6b Ficap – Linha básica para baixa tensão

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma ³⁾	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma ³⁾	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou afastado da mesma ⁴⁾	C

Tabela 4.4b Tipos de linhas elétricas (NBR 5410:1997)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ⁴⁾
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar no teto ⁴⁾	C
11B		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto ⁴⁾	C
12		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não perfurada ou prateleira	C
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical	E (multipolar) F (unipolares)
14		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais ou tela	E (multipolar) F (unipolares)
15		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede ⁵⁾	E (multipolar) F (unipolares)
16		Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)
17		Cabos unipolares ou cabo multipolar suspenso(s) por cabo de suporte, incorporado ou não	E (multipolar) F (unipolares)
18		Condutores nus ou isolados sobre isoladores	G

Tabela 4.4 c Tipos de linhas elétricas (NBR 5410:1997)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ⁴⁾
21		Cabos unipolares ou cabo multipolar em espaço de construção ⁶⁾	1,5 D _c ≤ V < 5 D _c B2 5 D _c ≤ V < 50 D _c B1
22		Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção ⁶⁾	1,5 D _c ≤ V < 20 D _c B2 V ≥ 20 D _c B1
23		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção circular em espaço de construção ⁶⁾	B2
24		Condutores isolados em eletroduto de seção não circular em espaço de construção ⁶⁾	1,5 D _c ≤ V < 20 D _c B2 V ≥ 20 D _c B1
25		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não circular em espaço de construção	B2
26		Condutores isolados em eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria ⁶⁾	1,5 ≤ V < 5 D _c B2 5 D _c ≤ V < 50 D _c B1
27		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria ⁶⁾	B2
28		Cabos unipolares ou cabo multipolar em forro falso ou em piso elevado ⁷⁾	1,5 D _c ≤ V < 5 D _c B2 5 D _c ≤ V < 50 D _c B1
31		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1
32		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1

Tabela 4.4d Tipos de linhas elétricas (NBR 5410:1997)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹⁾
31A		Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B2
32A		-	B2
33		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada encaixada no piso ou no solo	B1
34		Cabo multipolar em canaleta fechada encaixada no piso ou no solo	B2
35		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B1
36		Cabo multipolar em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B2
41		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroducto de seção circular contido em canaleta fechada com percurso horizontal ou vertical	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Condutores isolados em eletroducto de seção circular contido em canaleta ventilada encaixada no piso ou no solo	B1
43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada encaixada no piso ou no solo	B1

Tabela 4.4e Tipos de linhas elétricas (NBR 5410:1997)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹⁾
51		Cabo multipolar embutido diretamente em parede termicamente isolante	A1
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61		Cabo multipolar em eletroducto enterrado ou em canaleta não ventilada no solo	D
61A		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroducto enterrado ou em canaleta não ventilada no solo	D
62		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), sem proteção mecânica adicional ¹⁾	D
63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional	D
71		Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura	A1

Tabela 4.4f Tipos de linhas elétricas (NBR 5410:1997)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹⁾
72		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta provida de separações sobre parede	B1
72A		Cabo multipolar em canaleta provida de separações sobre parede	B2
73		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de porta	A1
74		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de janela	A1
75 75A		Cabo multipolar em canaleta embutida em parede	B2

¹⁾ Ver 6.2.5.1.2.²⁾ O revestimento interno da parede possui condutância térmica de no mínimo 10 W/m².K.³⁾ A distância entre o eletroduto e a parede deve ser inferior a 0,3 vez o diâmetro externo do eletroduto.⁴⁾ A distância entre o cabo e a superfície deve ser inferior a 0,3 vez o diâmetro externo do cabo.⁵⁾ A distância entre o cabo e a parede ou teto deve ser igual ou superior a 0,3 vez o diâmetro externo do cabo.⁶⁾ Deve-se atentar para o fato de que quando os cabos estão instalados na vertical e a ventilação é restrita, a temperatura ambiente no topo do trecho vertical pode aumentar considerablymente.⁷⁾ Os forros falsos e os pisos elevados são considerados espaços de construção.⁸⁾ Os cabos devem ser providos de armação.

Tabela 4.5a Capacidades de condução de corrente (NBR 5410:1997), em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D.

— condutores isolados, cabos unipolares e multipolares — cobre e alumínio, isolação de PVC; temperatura de 70 °C no condutor;
 — temperaturas — 30 °C (ambiente); 20 °C (solo).

Seções nominais mm ²	Métodos de instalação definidos na Tabela 4.4											
	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)
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	368	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	666	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	1012	906	827	738	1125	996	792	662
ALUMÍNIO — CORRENTES NOMINAIS (A)												
16	48	43	44	41	60	53	54	48	66	59	62	52
25	63	57	58	53	79	70	71	62	83	73	80	66
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
100	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170	166	138
140	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197	189	157
180	189	170	172	155	241	214	206	183	261	227	213	178
210	215	194	195	176	275	245	234	208	298	259	240	200
250	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
350	345	311	314	283	446	397	372	331	488	422	366	305
400	396	356	360	324	512	456	425	378	563	486	414	345
450	456	410	416	373	592	527	488	435	653	562	471	391
500	529	475	482	432	687	612	563	502	761	654	537	446
600	607	544	552	495	790	704	643	574	878	753	607	505

Tabela 4.5d Capacidades de condução de corrente (NBR 5410:1997), em ampères, para os métodos de referência E, F e G; — condutores isolados, cabos unipolares e multipolares — cobre e alumínio, isolação de EPR ou XLPE; temperatura de 90 °C no condutor; temperatura ambiente –30 °C.

Seqüências nominais mm ²	Métodos de instalação definidos na Tabela 4.4						
	E	E	F	F	F	G	G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
COBRE — CORRENTES NOMINAIS (A)							
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	63	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
ALUMÍNIO — CORRENTES NOMINAIS (A)							
16	91	77	90	76	79	103	90
25	108	97	121	103	107	138	122
36	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
160	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	409	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	632
400	654	566	740	663	694	856	792
500	756	652	856	770	806	991	921
630	879	755	996	899	942	1 154	1 077
800	1 026	879	1 164	1 056	1 106	1 351	1 266
1 000	1 186	1 012	1 347	1 226	1 285	1 565	1 472

EXEMPLO

Suponhamos que temos:

$I_p = 170$ A, três condutores carregados, instalação em eletroduto, temperatura a considerar = 50°C e temperatura ambiente = 30°C.

Usaremos três condutores de cobre, cobertura de PVC, 70°C.

Modalidade de instalação: eletroduto embutido em alvenaria.

4.4.1.5 Correções a Introduzir no Dimensionamento dos Cabos

São três as correções que eventualmente deveremos fazer, e a cada uma corresponde um fator de correção k :

a) *correção de temperatura*, se a temperatura ambiente (ou do solo) for diferente daquela para a qual as tabelas foram estabelecidas. Obtém-se o fator k_1 na Tabela 4.6;

b) *agrupamento de condutores*, quando forem mais de três condutores carregados. O fator k_2 se acha na Tabela 4.7;

c) *agrupamento de eletrodutos*. O fator k_3 é obtido na Tabela 4.8.

A corrente de projeto I_p deverá ser corrigida caso ocorram uma ou mais das condições acima, de modo que a corrente a considerar será uma corrente hipotética I'_p , dada por:

$$I'_p = \frac{I_p}{k_1} \text{ ou } \frac{I_p}{k_1 \times k_2} \text{ ou } \frac{I_p}{k_1 \times k_2 \times k_3}$$

Com esse valor de I'_p , entramos na Tabela 4.5 ou 4.6 para escolhermos o cabo.

Tabela 4.6 Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para cabos não-enterrados e de 20°C (temperatura do solo) para cabos enterrados — k_1

Ambiente	Temperatura (°C)	Isolação	
		PVC	EPR ou 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
	55	0,61	0,76
	60	0,50	0,71
	65	—	0,65
	70	—	0,58
	75	—	0,50
	80	—	0,41
Do solo	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

Tabela 4.7 Fatores de correção k_2 para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares, aplicáveis aos valores de capacidade de condução de corrente

Item	Disposição dos cabos justapostos	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas das métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥ 20	
1	Feixe de cabos ao ar livre ou sobre superfície; cabos 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	4.5 (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	—	—	—	4.5a e 4.5b (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	Nenhum fator de redução adicional para mais de 9 circuitos ou cabos multipolares	—	—	4.5c e 4.5d (métodos E e F)
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	—	—	—	—
5	Camada unida em leito, suporte	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	—	—	—	—

NOTAS

1 – Esses fatores são aplicáveis a grupos de cabos uniformemente carregados.

2 – Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.

3 – Os mesmos fatores de correção são aplicáveis a:

- grupos de 2 ou 3 condutores isolados ou cabos unipolares;
- cabos multipolares.

4 – Se um agrupamento é constituído tanto de cabos bipolares como de cabos tripolares, o número total de cabos é tomado igual ao número de circuitos e o fator de correção correspondente é aplicado às tabelas de 2 condutores carregados, para os cabos bipolares, e às tabelas de 3 condutores carregados para os cabos tripolares.

5 – Se um agrupamento consiste em N condutores isolados ou cabos unipolares, pode-se considerar tanto N/2 circuitos com 2 condutores carregados como N/3 circuitos com 3 condutores carregados.

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

Tabela 4.8 Fatores de correção k_3 para agrupamento de mais de um circuito ou mais de um cabo multipolar instalado em eletrodutos ou calha, ou agrupados sobre uma superfície

Disposição dos cabos		Fatores de correção													
		Número de circuitos ou de cabos multipolares													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	≥ 16	
Agrupados sobre uma superfície ou contidos em eletrodutos ou calha		1,00	0,8	0,7	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4	
Camada única em parede ou piso	Contíguo	1,00	0,85	0,8	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,65	
	Espaçados	1,00	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
Camada única no teto	Contíguo	0,95	0,8	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,55	
	Espaçados	0,95	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	

Tabela 4.9 Ocupação máxima dos eletrodutos de aço por condutores isolados com PVC. (Tabela de cabos Pirastic superantiflam da Pirelli.)

Seção nominal (mm²)	Número de condutores no eletrodotu									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,5	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20
2,5	16	16	16	20	20	20	20	25	25	25
4	16	16	20	20	20	25	25	25	25	25
6	16	20	20	25	25	25	25	31	31	31
10	20	20	25	25	31	31	31	31	31	41
16	20	25	31	31	41	41	41	41	41	41
25	25	31	31	41	41	41	47	47	47	47
35	25	31	41	41	41	47	59	59	59	59
50	31	41	41	47	59	59	59	75	75	75
70	41	41	47	59	75	75	75	75	75	75
95	41	47	59	59	75	75	75	88	88	88
120	41	59	59	75	75	75	88	88	88	88
150	47	59	75	75	88	88	100	100	100	100
185	59	75	75	88	88	100	100	113	113	113
240	59	75	88	100	100	113	113	—	—	—

Não há necessidade de aplicar a correção correspondente quando a soma das áreas totais dos condutores contidos num eletrodotu for igual ou inferior a 33% (1/3) da área do eletrodotu. Então, $k_2 = 1$. Esta exigência é atendida quando se coloca o número de condutores indicados na Tabela 4.9 no interior de um dado eletrodotu de aço.

Em instalações industriais, é comum usarem-se bandejas perfuradas ou prateleiras para suporte de cabos em uma camada. Na determinação do fator de correção k_2 , usa-se a Tabela 4.10 para o caso de cabos unipolares e a Tabela 4.11 para o de cabos multipolares dispostos em bandejas horizontais ou verticais.

Quando se colocam eletrodutos próximos uns dos outros, deve-se introduzir uma correção utilizando o fator de correção k_3 . Temos a considerar duas hipóteses:

- Os eletrodutos acham-se ao ar livre, podendo estar dispostos horizontal ou verticalmente. Usa-se a Tabela 4.13.
- Os eletrodutos acham-se embutidos ou enterrados. Usa-se a Tabela 4.12.

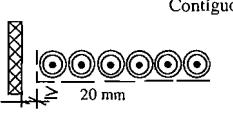
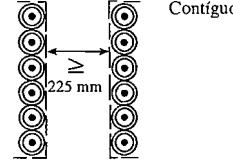
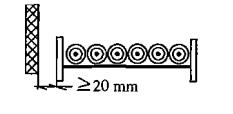
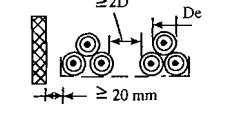
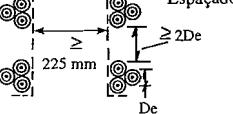
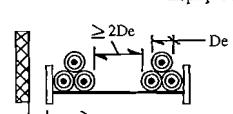
Exemplo 4.1

Um circuito de 1.200 W de iluminação e tomadas de uso geral, de fase e neutro, passa no interior de um eletrodotu embutido de PVC, juntamente com outros quatro condutores isolados de outros circuitos em cobre, PVC = 70°C. A temperatura ambiente é de 35°C. A tensão é de 120 volts. Determinar a seção do condutor.

Solução

- Corrente $I_p = \frac{1.200 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 10 \text{ A}$
- Consideremos fio com cobertura de PVC: Pirastic superantiflam da Pirelli, ou Noflam BWF-750 da Ficap.
- Correção de temperatura. Para $t = 35^\circ\text{C}$, obtemos, na Tabela 4.6: $k_1 = 0,94$
- Correção de agrupamento de condutores. Temos, ao todo, seis condutores carregados, isto é, três circuitos monofásicos. No item 1 da Tabela 4.7, podemos ler que, para cabos em condutos fechados correspondendo à coluna 3 da tabela, obtemos o fator de correção k_2 igual a 0,70 para três circuitos.

Tabela 4.10 Fatores de correção para o agrupamento de circuitos constituídos por cabos unipolares, aplicáveis aos valores referentes a cabos unipolares ao ar livre — Método de referência F nas Tabelas 4.5b e 4.5c.

Método de instalação da Tabela 4.4			Número de bandejas ou leitos	Número de circuitos trifásicos (Nota 5)			Utilizar como multiplicador para a coluna:
				1	2	3	
Bandejas horizontais perfuradas (Nota 3)	13	 Contíguos	1	0,98	0,91	0,87	6
			2	0,96	0,87	0,81	
			3	0,95	0,85	0,78	
Bandejas verticais perfuradas (Nota 4)	13	 Contíguos	1	0,96	0,86	-	6
			2	0,95	0,84	-	
			3	0,94	0,82	-	
Leitos, suportes horizontais, etc. (Nota 3)	14	 Contíguos	1	1,00	0,97	0,96	6
	15		2	0,98	0,93	0,89	
	16		3	0,97	0,90	0,86	
Bandejas horizontais perfuradas (Nota 3)	13	 Espaçados	1	1,00	0,98	0,96	5
	2		0,97	0,93	0,89		
	3		0,96	0,92	0,86		
Bandejas verticais perfuradas (Nota 4)	13	 Espaçados	1	1,00	0,91	0,89	5
	2		1,00	0,90	0,86		
	3		0,97	0,88	0,84		
Leitos, suportes horizontais, etc. (Nota 3)	14	 Espaçados	1	1,00	1,00	1,00	5
	15		2	0,97	0,95	0,93	
	16		3	0,96	0,94	0,90	

NOTAS

1 — Os valores indicados são médios para os tipos de cabos e a faixa de seções das Tabelas 4.5c e 4.5d.

2 — Os fatores são aplicáveis a cabos agrupados em uma única camada, como mostrado acima, e não se aplicam a cabos dispostos em mais de uma camada. Os valores para tais disposições podem ser sensivelmente inferiores e devem ser determinados por um método adequado; pode ser utilizada a Tabela 4.13.

Tabela 4.11 Fatores de correção para o agrupamento de cabos multipolares, aplicáveis aos valores referentes a cabos multipolares ao ar livre — Método de referência E nas Tabelas 4.5c e 4.5d

Número de bandejas ou leitos	Método de instalação da Tabela 4.4	Número de cabos							
		1	2	3	4	6	9		
Bandejas horizontais perfuradas (Nota 3)	13	Contíguos	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68	
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66	
	13	Espaçados	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-	
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	-	
Bandejas verticais perfuradas (Nota 4)	13	Contíguos	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70	
		3	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70	
	13	Espaçados	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-	
		3	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-	
Leitos, suportes horizontais, etc. (Nota 3)	14	Contíguos	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73	
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70	
	15	Espaçados	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-	
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-	
Leitos, suportes horizontais, etc. (Nota 3)	16	Espaçados	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-

NOTAS

Os valores indicados são médios para os tipos de cabos e a faixa de seções das Tabelas 4.5c e 4.5d.

Os fatores são aplicáveis a cabos agrupados em uma única camada, como mostrado acima, e não se aplicam a cabos dispostos em mais de uma camada. Os valores para tais disposições podem ser sensivelmente inferiores e devem ser determinados por um método adequado; pode ser utilizada a Tabela 4.13.

Os valores são indicados para uma distância vertical entre bandejas ou leitos de 300 mm. Para distâncias menores, os fatores devem ser reduzidos.

Os valores são indicados para uma distância horizontal entre bandejas de 225 mm, estando estas montadas fundo a fundo. Para espaçamento menor, os fatores devem ser reduzidos.

Tabela 4.12a Fatores de agrupamento para mais de um circuito — Cabos unipolares ou cabos multipolares diretamente enterrados (método de referência D)

Número de circuitos	Distâncias entre cabos ¹⁾ (a)				
	Nula	1 diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 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⁾ Cabos multipolares Cabos unipolares

NOTA — Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as dimensões dos cabos constantes nas Tabelas 4.5a e 4.5b. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de 10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à NBR 11301.

Tabela 4.12b Fatores de agrupamento para mais de um circuito — Cabos em eletrodutos diretamente enterrados

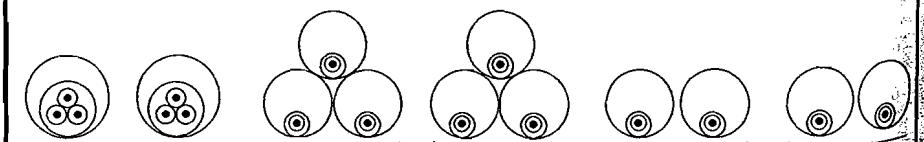
Número de circuitos	Cabos multipolares em eletrodutos — Um cabo por eletroduto			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80

Cabos unipolares em eletrodutos — Um cabo por eletroduto

Número de circuitos (2 ou 3 cabos)	Espaçamento entre eletrodutos ¹⁾ (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 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⁾ Cabos multipolares

Cabos unipolares



NOTA — Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as dimensões dos cabos constantes nas Tabelas 4.5a e 4.5b. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de 10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à NBR 11301.

A corrente corrigida será: $I_p \div (k_1 \times k_2) = 10 \div (0,94 \times 0,70) = 15,2 \text{ A}$

Na Tabela 4.4, acha-se o n.º 7 referente a "condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria."

Na Tabela 4.5a temos o método de referência "B1" e "dois condutores carregados", para corrente de 17,5 A (valor mais próximo de 15,2 A), condutor de seção nominal de 1,5 mm².

Vê-se, portanto, que para circuitos internos de iluminação de 1200 W em apartamentos, derivando do quadro terminal de luz, considerando apenas os efeitos de aquecimento e agrupamento de condutores, o condutor de 1,5 mm² é suficiente, dispensando o cálculo de circuito por circuito.

A Tabela 4.15 fornece o diâmetro adequado de eletroduto para atender ao aquecimento, de modo que os condutores ocupem menos de 1/3 da seção do eletroduto, não havendo necessidade de se fazer a correção do eletroduto de proteção dos condutores, pois k_2 será igual a 1.

■ Exemplo 4.2

Em uma instalação industrial, em local onde a temperatura é de 45°C, devem passar, em um eletroduto aparente, dois circuitos de três cabos unipolares, sendo a corrente de projeto, em cada condutor, de 36 A. O eletroduto é fixado, junto com outros quatro, horizontalmente, em bandejas. Dimensionar os condutores.

Solução

- Consideremos o cabo com cobertura de PVC/70.
- Correção da temperatura.

Para $t = 50^\circ\text{C}$, obtemos na Tabela 4.6,
 $k_1 = 0,71$

- Correção de agrupamento de condutores.

Temos, ao todo, seis condutores carregados no eletroduto.

Na Tabela 4.7, obtemos $k_2 = 0,70$, referindo-se a 3 circuitos monofásicos (6 cabos).

- Correção de agrupamento de eletrodutos aparentes.

Na Tabela 4.13 vemos que, para quatro eletrodutos dispostos horizontalmente, $k_3 = 0,88$.

- Corrente de projeto, corrigida.

$$I'_p = I_p \div (k_1 \times k_2 \times k_3) \rightarrow I'_p = 36 \div (0,71 \times 0,70 \times 0,88) \rightarrow I'_p = 36 \div 0,438 = 82,2 \text{ A}$$

- Seção do condutor.

Pela Tabela 4.5a, referente a PVC/70, vemos que para a maneira de montagem "B1" (cabos isolados dentro de eletroduto, em montagem aparente) e dois condutores carregados, o condutor de 25 mm² tem capacidade para 101 A, valor que, por excesso, mais se aproxima do valor calculado de 82,2 A.

Tabela 4.13 Fatores k_3 de correção em função do número de eletrodutos ao ar livre

Número de eletrodutos dispostos verticalmente	Número de eletrodutos dispostos horizontalmente					
	1	2	3	4	5	6
1	1,00	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,78	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68

Tabela 4.14 Fatores k_3 de correção em função do número de eletrodutos enterrados ou embutidos

Número de eletrodutos dispostos verticalmente	Número de eletrodutos dispostos horizontalmente					
	1	2	3	4	5	6
1	1,00	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

■ Exemplo 4.3

Em um eletroduto passam três circuitos carregados. Um dos circuitos trifásicos transporta uma corrente de projeto de 25 A. O eletroduto acha-se embutido horizontalmente e espaçadamente ao lado de três outros. A temperatura ambiente é de 40°C. Dimensionar o condutor do referido circuito.

Solução

- Tipo de cabo. Cobertura PVC/70.
- Correção de temperatura.
- Para $t = 40^\circ\text{C}$, obtemos, na Tabela 4.6, $k_1 = 0,87$.
- Correção de agrupamento de condutores.
- Temos, ao todo, no eletroduto, nove condutores carregados.
- Na Tabela 4.7, obtemos, para 10 condutores, $k_2 = 0,50$.
- Correção de agrupamento de eletrodutos embutidos.
- Na Tabela 4.14, vemos que, para quatro eletrodutos embutidos, um ao lado do outro, o fator de correção é $k_3 = 0,72$.
- Corrente do projeto, corrigida.

$$I'_p = I_p \div (k_1 \times k_2 \times k_3) \rightarrow I'_p = 25 \div (0,87 \times 0,50 \times 0,72) = 79,7 \text{ A}$$

• Seção do condutor.

Pela Tabela 4.5a referente a PVC/70, para a maneira de montagem "B1" (cabos isolados dentro de eletrodutos embutidos) e dois condutores carregados, o condutor de 25 mm², com capacidade de 89 A, pode ser empregado.

■ Exemplo 4.4

Em uma instalação industrial pretende-se colocar, instalado em uma bandeja ventilada horizontal, um cabo tripolar ao lado de quatro outros. A temperatura ambiente é de 50°C. A corrente de projeto é de 86 A.

Solução

- Consideremos o cabo PVC/70, tripolar de cobre.
- Correção da temperatura.
- Para $t = 50^\circ\text{C}$, pela Tabela 4.6, $k_1 = 0,71$.
- Correção de agrupamento de condutores.
- Temos, ao todo, cinco condutores carregados, na bandeja.

Pela Tabela 4.11, vemos que, para cinco cabos multipolares em bandejas perfuradas horizontais e colocados espaçadamente, $k_2 = 0,91$.

- Corrente de projeto corrigida.

$$I'_p = I_p \div k_1 \times k_2 = 86 \div (0,71 \times 0,91) = 133,2 \text{ A}$$

- Seção do condutor.

Na Tabela 4.4, "cabos multipolares em bandejas perfuradas" são designados pela letra "E". Conforme nota anterior, devemos considerar esta como disposição ao ar livre multiplicada pelo fator de correção inerente ao problema. Então, na Tabela 4.5c, vemos que, na coluna referente aos cabos tripolares, o cabo com seção nominal de 50 mm² é o que por excesso mais se aproxima do valor $I'_p = 133,2 \text{ A}$. Como devemos ainda multiplicar este valor pelo fator de correção k_2 então $133 \text{ A} \times 0,91 = 139,3 \text{ A}$, que ainda nos leva a usar o condutor de seção ortogonal de 50 mm².

4.5 NÚMERO DE CONDUTORES ISOLADOS NO INTERIOR DE UM ELETRODUTO

O eletroduto é um elemento de linha elétrica fechada, de seção circular ou não, destinado a conter condutores elétricos, permitindo tanto a enfiação como a retirada por puxamento, e é caracterizado pelo seu *diâmetro nominal* ou diâmetro externo (em mm).

Existem:

- eletrodutos flexíveis metálicos, que não devem ser embutidos;
- eletrodutos rígidos (de aço ou de PVC), e semi-rígidos (de polietileno), que podem ser embutidos.

Não é permitida a instalação de condutores sem isolação no interior de eletrodutos.

Só podem ser colocados, num mesmo eletroduto, condutores de circuitos diferentes quando se originarem do mesmo quadro de distribuição, tiverem a mesma tensão de isolamento e as seções dos condutores fases estiverem num intervalo de três valores normalizados (p. ex., 1,5, 2,5 e 4 mm²).

Podemos considerar duas hipóteses: os condutores são iguais ou os condutores são desiguais.

Tabela 4.15 Número de condutores isolados com PVC, em eletroduto de PVC

Seção nominal (mm ²)	Número de condutores no eletroduto									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Tamanho nominal do eletroduto									
1,5	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20
2,5	16	16	16	20	20	20	20	25	25	25
4	16	16	20	20	20	25	25	25	25	25
6	16	20	20	25	25	25	25	32	32	32
10	20	20	25	25	32	32	32	40	40	40
16	20	25	25	32	32	40	40	40	40	40
25	25	32	32	40	40	40	50	50	50	50
35	25	32	40	40	50	50	50	50	50	60
50	32	40	40	50	50	60	60	60	60	70
70	40	40	50	50	60	60	60	75	75	75
95	40	50	60	60	75	75	75	85	85	85
120	50	50	60	75	75	75	85	85	85	—
150	50	60	75	75	85	85	—	—	—	—
185	50	75	75	85	85	—	—	—	—	—
240	60	75	85	—	—	—	—	—	—	—

4.5.1 OS CONDUTORES SÃO IGUAIS

Neste caso, se o eletroduto for de aço, podemos usar a Tabela 4.9 da Pirelli para cabos Pirastic superantiflam. Se o eletroduto for de PVC rígido, podemos aplicar a Tabela 4.15 da Pirelli para cabos Pirastic Ecoflam.

4.5.2 OS CONDUTORES SÃO DESIGUAIS

Deve-se verificar se a soma das seções transversais dos cabos é inferior a 33% (1/3) da área do eletroduto. Caso isso se verifique, não há necessidade de se fazer a correção de agrupamento de condutores e, portanto, de se determinar o fator de correção k_2 .

Tabela 4.16 Eletrodutos rígidos de aço

Tamanho nominal diâmetro externo	Ocupação máxima 40% da área	33% da área
(mm)	(mm ²)	(mm ²)
16	53	44
20	90	75
25	152	125
31	246	203
41	430	354
47	567	468
59	932	769
75	1.525	1.258
88	2.147	1.771
100	2.816	2.323
113	3.642	3.005

Tabela 4.17 Dimensões totais dos condutores isolados

Seção nominal (mm ²)	Pirastic Ecoflam		Pirastic Flex Antiflam	
	Diâmetro externo*	Área total* (mm ²)	Diâmetro externo (mm)	Área total (mm ²)
1,5	2,8/3,0	6,2/7,1	3,0	7,1
2,5	3,4/3,7	9,1/10,7	3,6	10,2
4	3,9/4,2	11,9/13,8	4,2	13,8
6	4,4/4,8	15,2/18,1	4,7	17,3
10	5,6/5,9	24,6/27,3	6,1	29,2
16	6,5/6,9	33,2/37,4	7,8	47,8
25	8,5	56,7	9,6	72,4
35	9,5	71,0	10,9	93,3
50	11,0	95	13,2	136,8
70	13,0	133	15,0	176,7
95	15,0	177	—	—
120	16,5	214	—	—
150	18,0	254	—	—
185	20,0	314	—	—
240	23,0	415	—	—

*Fio/cabo.

A soma das áreas totais dos condutores contidos num eletroduto não deve ser superior a 40% da área útil do eletroduto. Para o cálculo da seção de ocupação do eletroduto pelos cabos, podemos usar as Tabelas 4.16 e 4.17.

■ Exemplo 4.5

Cálculo do eletroduto de aço para conter 10 cabos Pirastic Ecoflam de 1,5 mm² de diâmetro.

- Na Tabela 4.17, vemos que 10 cabos Pirastic Ecoflam de 1,5 mm² de diâmetro nominal têm área igual a $10 \times 7,1 \text{ mm}^2 = 71 \text{ mm}^2$.
- Na Tabela 4.9 vemos que o eletroduto de 20 mm de diâmetro comporta 10 condutores de 1,5 mm².
- Como 33% da área livre de eletroduto de 20 mm de diâmetro nominal (externo) são iguais a 75 mm², na Tabela 4.16, vemos que não há necessidade de calcular o efeito do agrupamento dos condutores, se for obedecida a Tabela 4.9.

■ Exemplo 4.6

Num eletroduto de aço deverão ser instalados três circuitos terminais, assim discriminados:

Círcuito 1 — F-N; $I_{p1} = 15 \text{ A}$

Círcuito 2 — F-N-PÉ (condutor de proteção); $I_{p2} = 30 \text{ A}$

Círcuito 3 — F-P-E; $I_{p3} = 25 \text{ A}$

Determinar o menor eletroduto de modo que não haja necessidade de calcular o efeito de agrupamento dos condutores aplicando o fator k_2 .

Solução

Na Tabela 4.5a, temos para dois condutores carregados em cada circuito.

Círcuito 1: 15 A — 2,5 mm² (2 cabos).

Círcuito 2: 30 A — 6 mm² (3 cabos).

Círcuito 3: 25 A — 4 mm² (3 cabos).

Mas, pela Tabela 4.17, vemos que:

2,5 mm² correspondem a cabo com área total de 10,2 mm²;

4 mm² correspondem a cabo com área total de 13,8 mm²;

6 mm² correspondem a cabo com área total de 17,3 mm².

A área transversal ocupada pelos condutores é de:

Círcuito 1 — $2 \times 10,2 = 20,4 \text{ mm}^2$

Círcuito 2 — $3 \times 17,3 = 51,9 \text{ mm}^2$

Círcuito 3 — $3 \times 13,8 = 41,4 \text{ mm}^2$

Total 113,7 mm²

Pela Tabela 4.16, vemos que para o valor mais próximo, isto é, 125 mm², o diâmetro do eletroduto é de 25 mm, para que os condutores não ocupem mais de 33% da área transversal.

■ Exemplo 4.7

Em uma indústria, deverão correr em uma bandeja perfurada horizontal três circuitos de distribuição, trifásicos, sob tensão de 220 V entre fases, sendo de 30°C a temperatura ambiente. Dimensionar os condutores, sabendo-se que:

- O circuito 1 alimenta motores. $I_{p1} = 150 \text{ A}, 3\text{F}$.
- O circuito 2 serve à iluminação, com ligações entre fases de 220 V. $I_{p2} = 120 \text{ A}, 3\text{F-N}$.
- O circuito 3 alimenta um forno de indução. $I_{p3} = 200 \text{ A}, 3\text{F}$.
- Os cabos são dispostos contiguamente, multipolares, PVC/70°C e são de cobre.

Solução

• *Fator de correção*, devido ao agrupamento de condutores de mais de um circuito com cabos multipolares contíguos, em uma bandeja perfurada horizontal; na Tabela 4.11, vemos que $k_2 = 0,82$, para três circuitos trifásicos.

• Correntes corrigidas.

Circuitos 1: $I_{p1} = 150 \div 0,82 = 183,0 \text{ A}$

Circuitos 2: $I_{p2} = 120 \div 0,82 = 146,4 \text{ A}$

Circuitos 3: $I_{p3} = 200 \div 0,82 = 244,0 \text{ A}$

- Tratando-se de disposição de cabos multipolares em bandejas, vê-se na Tabela 4.4 que a letra correspondente é "E".

Entrando na Tabela 4.5c, coluna 2, letra E, vemos o seguinte:

$$\text{Para } I_{p1} = 187,5 \text{ A temos } S_{p1} = 70 \text{ mm}^2$$

$$I_{p2} = 150,0 \text{ A temos } S_{p2} = 50 \text{ mm}^2$$

$$I_{p3} = 250,0 \text{ A temos } S_{p3} = 120 \text{ mm}^2$$

Observe que no circuito 2 devemos dimensionar o neutro. Podemos usar a Tabela 4.1b para obtermos o diâmetro do cabo neutro. Vemos que, para o condutor fase de 50 mm² do circuito 2, o neutro será de 25 mm².

4.6 CÁLCULO DOS CONDUTORES PELO CRITÉRIO DA QUEDA DE TENSÃO

Para que os aparelhos, equipamentos e motores possam funcionar satisfatoriamente, é necessário que a tensão sob a qual a corrente lhes é fornecida esteja dentro de limites prefixados. Ao longo do circuito, desde o quadro geral ou a subestação até o ponto de utilização em um circuito terminal, ocorre uma queda na tensão. Assim, é necessário dimensionar os condutores para que esta redução na tensão não ultrapasse os limites estabelecidos pela Norma NB-5.410:1997 da ABNT. Estes limites são os seguintes:

4.6.1 INSTALAÇÕES ALIMENTADAS A PARTIR DA REDE DE ALTA TENSÃO, isto é, a partir da subestação.

- Iluminação e tomadas: 7%
- Outros usos: 7%

4.6.2 INSTALAÇÕES ALIMENTADAS DIRETAMENTE EM REDE DE BAIXA TENSÃO

- Iluminação e tomadas: 4%
- Outros usos: 4%

Para qualquer dos dois casos, a queda de tensão, a partir do quadro terminal até o dispositivo ou equipamento consumidor de energia, deverá ser, no máximo, de 4%. A Fig. 4.7 mostra como as quedas de tensão devem ser consideradas.

Para o dimensionamento do condutor, pode-se adotar o procedimento descrito a seguir. Conhecem-se:

- Material do eletroduto. Se é magnético ou não-magnético.
- Corrente de projeto, I_p (em ampères).
- O fator de potência, $\cos \varphi$. Ver definição no Capítulo 9.
- A queda de tensão admissível para o caso, em porcentagem (%).
- O comprimento de circuito l (em km).
- A tensão entre fases U (em volts).

Calcula-se:

- A queda de tensão admissível, em volts.
 $\Delta U = (\%) \times (U)$.
- Dividindo ΔU por $(I_p \times l)$, tem-se a queda de tensão em $(\text{volt/ampère}) \times \text{km}$.
- Entrando na Tabela 4.18 com este valor, obtém-se a seção nominal do condutor.

■ Exemplo 4.8

Admitamos uma alimentação em BT. Fig. 4.7 (II)

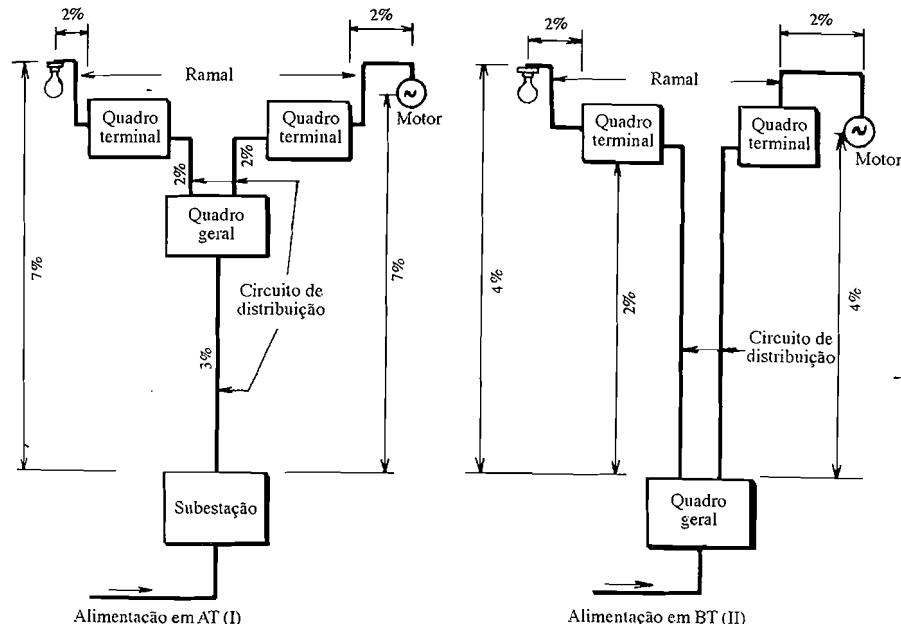


Fig. 4.7 Queda de tensão a considerar

Um circuito trifásico em 230 V, com 45 metros de comprimento, alimenta um quadro terminal, e este serve a diversos motores. A corrente nominal total é de 132 A. Pretende-se usar eletroduto de aço. Dimensionar os condutores do circuito de distribuição, desde o quadro geral até o quadro terminal.

Solução

Conhecemos:

- Alimentação em BT.
- Material do eletroduto: aço, material magnético.
- $I_p = 132 \text{ A}$.
- $\cos \varphi = 0,80$ (trata-se de motores).
- % de queda de tensão admissível.

Fator de potência usualmente adotado.

Podemos considerar essa queda igual a 2%, de modo a sobrarem 2% entre o quadro terminal e os motores, perfazendo o total admissível de 4%.

- Comprimento do circuito: $l = 45 \text{ m} = 0,045 \text{ km}$.
- Tensão entre fases: $U = 230 \text{ V}$.

Calculemos:

- A queda de tensão admissível
 $\Delta U = 0,02 \times 230 \text{ V} = 4,6 \text{ V}$
- Queda de tensão em $\frac{V}{A \times \text{km}}$

$$\frac{\Delta U}{I_p \times l} = \frac{4,6}{132 \times 0,045} = 0,774 \frac{\text{V}}{\text{A} \times \text{km}}$$

Entrando com este valor ou o mais próximo na Tabela 4.18, coluna de eletroduto de material magnético e $\cos \varphi = 0,80$, achamos para 0,64 um condutor de seção nominal de 70

Tabela 4.18 Quedas de tensão unitárias. Condutores isolados com PVC (Pirastic Ecoflam e Pirastic-Flex Antiflam) em eletroduto ou calha fechada

Seção nominal (mm ²)	Eletroduto ou calha de material não-magnético			Eletroduto ou calha de material magnético		
	Círculo monofásico		Círculo trifásico		Círculo monofásico ou trifásico	
	cos φ = 0,8 (V/A × km)	cos φ = 0,95 (V/A × km)	cos φ = 0,8 (V/A × km)	cos φ = 1 (V/A × km)	cos φ = 0,8 (V/A × km)	cos φ = 0,95 (V/A × km)
1,5	23,03	-	27,6	20,2	24,0	23,0
2,5	14,03	16,9	12,4	14,7	14,0	16,8
4	8,9	10,6	7,8	9,2	9,0	10,5
6	6,0	7,1	5,2	6,1	5,9	7,0
10	3,6	4,2	3,2	3,7	3,5	4,2
16	2,3	2,7	2,0	2,3	2,3	2,7
25	1,5	1,7	1,3	1,5	1,5	1,7
35	1,1	1,2	0,98	1,1	1,1	1,2
50	0,85	0,94	0,76	0,82	0,86	0,95
70	0,62	0,67	0,55	0,59	0,64	0,67
95	0,48	0,50	0,50	0,43	0,50	0,51
120	0,40	0,41	0,36	0,36	0,42	0,42
150	0,35	0,34	0,31	0,30	0,37	0,35
185	0,30	0,29	0,27	0,25	0,32	0,30
240	0,26	0,24	0,23	0,21	0,29	0,25

mm², que podemos adotar. Observar que o valor 0,86 (imediatamente superior a 0,774) não pode ser utilizado porque o cabo correspondente daria queda de tensão maior do que a calculada.

■ Exemplo 4.9

Em um prédio de apartamentos, temos uma distribuição de carga como indicada na Fig. 4.8. Vejamos os ramais até o quadro terminal, sabendo que a alimentação é em BT, 220/110 V.

Solução

Podemos usar um método mais simples e prático do que o anterior quando se tratar de circuitos com cargas pequenas. Consiste no emprego das Tabelas 4.19 e 4.20 referentes, respectivamente, às tensões de 110 V e 220 V, e que indicam, para os produtos watts × metros, os condutores a empregar. Os condutores são de cobre.

A seção S, apresentada nas Tabelas 4.19 e 4.20 foi calculada pela fórmula abaixo:

$$S = \frac{2 \times \rho}{\Delta U \times U^2} \times \sum P_{(\text{watts})} \times l_{(\text{m})}, \text{ sendo:}$$

$$\rho = \text{resistividade do cobre} = 0,0172 \text{ ohms} \times \text{mm}^2/\text{m} \equiv \frac{1}{58} \text{ ohms} \times \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

U = tensão;

ΔU = queda de tensão percentual.

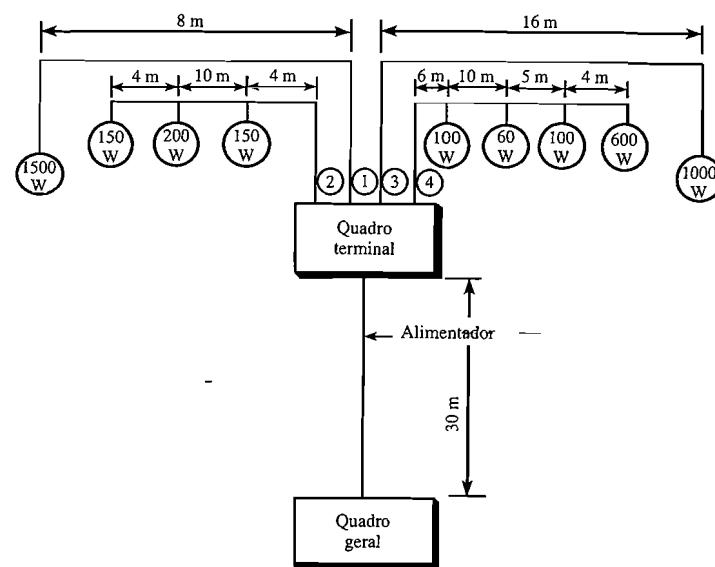


Fig. 4.8 Comprimentos dos condutores a considerar, com indicação dos números de circuitos e a potência de cada circuito

Tabela 4.19 Soma dos produtos potências (watt) × distâncias (m)
U = 110 volts

Condutor série métrica (mm ²) S	% de queda de tensão			
	1%	2%	3%	4%
	$\Sigma(P_{(\text{watt})} \times l_{(\text{m})})$			
1,5	5 263	10 526	15 789	21 052
2,5	8 773	17 546	26 319	35 092
4	14 036	28 072	42 108	56 144
6	21 054	42 108	63 162	84 216
10	35 090	70 100	105 270	140 360
16	56 144	112 288	168 432	224 576
25	87 725	175 450	263 175	350 900
35	122 815	245 630	368 445	491 260
50	175 450	350 900	526 350	701 800
70	245 630	491 260	736 890	982 520
95	333 355	666 710	1 000 065	1 333 420
120	421 080	842 160	1 263 240	1 604 320
150	526 350	1 052 700	1 579 050	2 105 400
185	649 165	1 298 330	1 947 495	2 596 660
240	842 160	1 684 320	2 526 480	3 368 640
300	1 052 700	2 105 400	3 158 100	4 210 800
400	1 403 600	2 807 200	4 210 800	5 614 400
500	1 754 500	3 509 000	5 263 500	7 018 000

Tabela 4.20 Soma dos produtos *potências (watt) × distâncias (m)*
 $U = 220$ volts

Condutor seção nominal (mm ²) S	% de queda de tensão			
	1%	2%	3%	4%
	$\Sigma(P_{(watt)} \times l_{(m)})$			
1,5	21 054	42 108	63 163	84 216
2,5	35 090	70 180	105 270	140 360
4	56 144	112 288	168 432	224 576
6	84 216	168 432	253 648	336 864
10	140 360	280 720	421 080	561 440
16	224 576	449 152	673 728	898 304
25	350 900	701 800	1 052 700	1 403 600
35	491 260	982 520	1 473 780	1 965 040
50	701 800	1 403 600	2 105 400	2 807 200
70	982 520	1 965 040	2 947 560	3 930 080
95	1 333 420	2 666 840	4 000 260	5 333 680
120	1 684 320	3 368 640	5 052 960	6 737 280
150	2 105 400	4 210 800	6 316 200	8 421 600
185	2 596 660	5 193 320	7 789 980	10 360 640
240	3 368 640	6 737 280	10 105 920	13 474 560
300	4 210 800	8 421 600	12 632 400	16 843 200
400	5 614 400	11 228 800	16 843 200	22 457 600
500	7 018 000	14 036 000	21 054 000	28 072 000

■ Exemplo 4.10

Em um apartamento de um edifício, temos uma distribuição de carga como indicado na Fig. 4.8. Dimensionar os condutores segundo o critério da queda de tensão.

Solução

A queda de tensão permitida nos ramais é de 2%, como vemos no item 4.6.2. A tensão nos circuitos dos ramais é de 110 V.

Calculemos, para cada circuito, o produto *potências × distâncias (P × l)*.

Círculo 1

$$1.500 \text{ W} \times 8 \text{ m} = 12.000 \text{ watts} \times \text{metros.}$$

Vemos na Tabela 4.19 que, para queda de tensão de 2% e produto $P \times l = 17.546$, o condutor deverá ser o de 2,5 mm², pois o de 1,5 mm² só atende ao valor $P \times l = 10.526 \text{ W} \times \text{m}$.

Círculo 2

$$150 \times 4 = 600$$

$$200 \times 14 = 2.800$$

$$150 \times 18 = 2.700$$

$$6.100 \text{ (watts} \times \text{metros).}$$

Na Tabela 4.19, obtemos condutor de 1,5 mm².

Círculo 3

$$1.000 \times 16 = 16.000 \text{ (watts} \times \text{metros).}$$

Condutor de 2,5 mm².

Círculo 4

$$\begin{array}{rcl} 100 \times 6 & = & 600 \\ 60 \times 16 & = & 960 \\ 100 \times 21 & = & 2.100 \\ 600 \times 25 & = & 15.000 \\ \hline & & 18.660 \text{ (watts} \times \text{metros).} \end{array}$$

Condutor de 4 mm².

Alimentador geral.

A carga total no quadro terminal é de:

$$1.500 + 150 + 200 + 150 + 100 + 60 + 100 + 600 + 1.000 = 3.860 \text{ W.}$$

O alimentador deverá ser trifásico.

Admitindo que haja um equilíbrio de carga entre as três fases, podemos dividir o total por 3 e aplicar a mesma Tabela 4.19, usando a coluna referente à queda de tensão de 2%.

Assim, teremos $3.860 \div 3 = 1.286,6 \text{ W.}$

$$P \times l = 1.286,6 \times 30 = 38.600 \text{ (watts} \times \text{metros).}$$

O condutor a usar será o de 6 mm². Pela Tabela 4.1b, vemos que o neutro deverá ser de mesma seção. Portanto, teremos como condutores $(3 \times 6 \text{ mm}^2 + 1 \times 6 \text{ mm}^2)$.

4.7 ATERRAMENTO

• Por que aterrarr?

Liga-se à terra para proteger edificações e pessoas contra descargas atmosféricas e cargas eletrostáticas geradas em instalações de grande porte.

Em instalações elétricas, os objetivos da ligação à terra são a segurança do pessoal, a proteção do material e a melhoria do serviço.

• O que é uma boa ligação à terra?

Somos levados a procurar estabelecer critérios simples quantitativos, verificáveis para um aterramento; isto é fácil. De saída, um valor limite para a resistência de aterramento (geralmente indicado em normas de instalações) não tem um significado realista.

Numa determinada localização, a resistência do aterramento é função de um parâmetro que depende das características do solo (a resistividade) e da área da instalação. Assim, o valor mínimo da resistência de aterramento já está fixado.

Estender a área também tem seus limites porque, por exemplo, para fenômenos de propagação rápida (descargas atmosféricas), a impedância de surto, que é o parâmetro importante, fica restrita à região mais próxima.

Muito mais importante que estabelecer valor é realizar a instalação de modo a limitar diferenças de potencial que possam causar riscos pessoais, assegurar proteção contra sobrecargas e sobretensões corretamente dimensionadas e limitar interferências eletromagnéticas por adequado percurso para as correntes elétricas. Por outro lado, a medição da resistência de aterramento, especialmente quando a instalação abrange uma grande extensão, é trabalhosa, e, se não for executada por alguém bem-orientado, pode levar a conclusões falsas.

Em essência, o objetivo do aterramento é interligar eletricamente objetos condutores ou carregados, de forma a ter as menores diferenças de potencial possíveis. Funcionalmente, o aterramento proporciona:

a) Ligação da baixa resistência com a terra, oferecendo um percurso de retorno entre o ponto de defeito e a fonte, reduzindo os potenciais até a atuação de dispositivos de proteção.

b) Percursos de baixa resistência entre equipamento elétrico ou eletrônico e objetos metálicos próximos, para minimizar os riscos pessoais no caso de defeito interno no equipamento.

- c) Percurso preferencial entre o ponto de ocorrência de uma descarga atmosférica em objeto exposto e o solo.
- d) Percurso para sangria de descargas eletrostáticas, prevenindo a ocorrência de potenciais perigosos, que possam causar um arco ou centelha.
- e) Criação de um plano comum de baixa impedância relativa entre dispositivos eletrônicos, circuitos e sistemas.

4.7.1 DEFINIÇÕES

O aterramento é a ligação de um equipamento ou de um sistema à terra, por motivo de proteção ou por exigência quanto ao funcionamento do mesmo.

Essa ligação de um equipamento à terra realiza-se por meio de condutores de proteção conectados ao neutro, ou à massa do equipamento, isto é, às carcaças metálicas dos motores, caixas dos transformadores, condutores metálicos, armações de cabos, neutro dos transformadores, neutro da alimentação de energia a um prédio.

Com o aterramento, objetiva-se assegurar sem perigo o escoamento das correntes de falta e fuga para terra, satisfazendo as necessidades de segurança das pessoas e funcionais das instalações.

O aterramento é executado com o emprego de um:

- **Condutor de proteção**. Condutor que liga as massas e os elementos condutores estranhos à instalação entre si e/ou a um terminal de aterramento principal.
- **Eletrodo de aterramento**, formado por um condutor ou conjunto de condutores (ou barras) em contato direto com a terra, podendo constituir a *malha de terra*, ligados ao terminal de aterramento. Quando o eletrodo de aterramento é constituído por uma barra rígida, denomina-se *haste de aterramento*. Uma canalização de água não pode desempenhar o papel de eletrodo de aterramento, conforme o item 6.4.2.2.5 da NBR 5.410: 1990.

O condutor de proteção ("terra") é designado por *PE*, e o neutro, pela letra *N*.

Quando o condutor tem funções combinadas de condutor de proteção e neutro, é designado por *PEN*. Quando o condutor de proteção assegura ao sistema uma proteção equívotencial, denomina-se *condutor de equívotencialidade*.

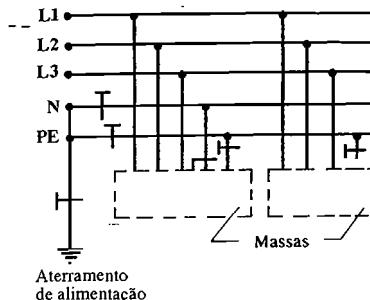
Os sistemas elétricos de baixa tensão, tendo em vista a alimentação e as massas dos equipamentos em relação à terra, são classificados pela NB 5.410, de acordo com a seguinte simbologia literal:

- A *primeira letra* indica a situação da alimentação em relação à terra.
 - T* — para um ponto diretamente aterrado;
 - I* — isolação de todas as partes vivas em relação à terra ou emprego de uma impedância de aterramento, a fim de limitar a corrente de curto-círcuito para a terra.
- A *segunda letra* indica a situação das massas em relação à terra.
 - T* — para massas diretamente aterradas, independentemente de aterramento eventual de um ponto de alimentação;
 - N* — massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado (normalmente, é o ponto neutro).
- Outras letras* (eventualmente), para indicar a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.
 - S* — quando as funções de neutro e de condutor de proteção são realizadas por condutores distintos;
 - C* — quando as funções de neutro e condutor de proteção são combinadas num único condutor (que é, aliás, o condutor *PEN*).

Quando a alimentação se realizar em baixa tensão, o condutor neutro deve sempre ser aterrado na origem da instalação do consumidor.

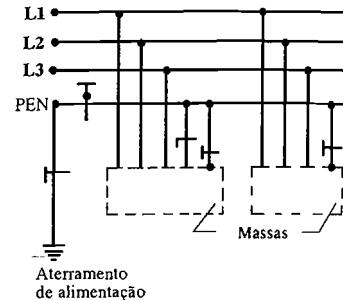
4.7.2 MODALIDADES DE ATERRAMENTO

Os casos mais comuns dos diversos sistemas acham-se esquematizados na Fig. 4.9.



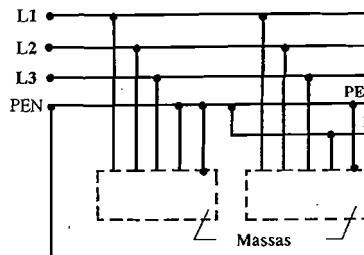
a. Sistema TN-C

O condutor neutro e o condutor de proteção são separados ao longo de toda a instalação.



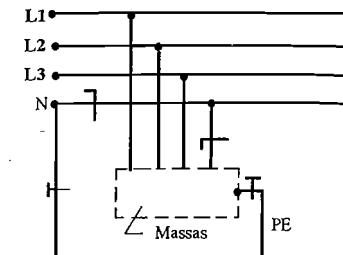
b. Sistema TN-C-S

As funções de neutro e de condutor de proteção são combinadas em um único condutor ao longo de toda a instalação.



c. Sistema TN-C-S

As funções de neutro e de condutor de proteção são combinadas em um único condutor em uma parte da instalação.

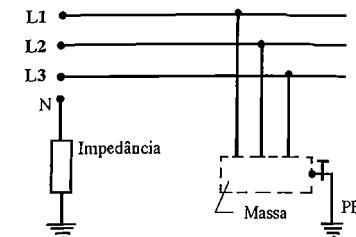


d. Sistema TT

Neutro aterrado independente do aterramento das massas.

SÍMBOLOGIA

A, B, C	Condutores fase
N	Condutor neutro
T	Condutor terra (ou de proteção)
TN	Condutor terra e neutro
PE	Condutor de proteção
PEN	Condutor de proteção e neutro
$\overline{\equiv}$	Eletrodo de terra
$\overline{+}$	Condutor Neutro (N)
$\overline{+}$	Condutor de Proteção (PE)
$\overline{+}$	Condutor (PEN)



e. Sistema IT

Não há ponto de alimentação diretamente aterrado.
Massa aterrada.

Fig. 4.9 Esquemas de aterramento (NBR-5.410/97), em sistemas trifásicos

-- Em princípio, todos os circuitos de distribuição e terminais devem possuir um condutor de proteção que convém fique no mesmo eletroduto dos condutores vivos do circuito. O condutor de proteção poderá ser um condutor isolado (Pirastic superantiflam; BWF 750 W — Ficap) ou uma veia de um cabo multipolar que contenha os condutores vivos (Sintenax Antiflam multipolar Pirelli; Fisec 0,6/1 — Ficap). *É dispensado o condutor de proteção em instalações de residências, nos circuitos terminais de iluminação e tomadas, em locais de pisos e paredes não-condutoras (tacos, alvenaria), como em quartos e salas.*

4.7.3 SEÇÃO DOS CONDUTORES DE PROTEÇÃO

A seção mínima dos condutores de proteção pode ser determinada pela Tabela 4.21.

Tabela 4.21 Seção mínima de condutores de proteção

Seção dos condutores fases (S) (mm ²)	Seção mínima dos condutores de proteção (S') (mm ²)
S ≤ 16 mm ²	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S' = S/2

Na aplicação da Tabela 4.21, poderão surgir resultados na determinação da seção do condutor de proteção (a divisão da seção da fase por dois) que não correspondam a um condutor existente na escala comercial. Nesse caso, devemos aproximar para a seção mais próxima, imediatamente superior. Por exemplo:

Condutor-fase: S = 90 mm²

Condutor de proteção: PE = $\frac{S}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ mm}^2 \rightarrow 50 \text{ mm}^2$, uma vez que não dispomos de condutor de 45 mm² (Tabela 4.5).

4.7.4 ATERRAMENTO DO NEUTRO

No caso do alimentador de um prédio, se a energia for fornecida em alta tensão, o ponto neutro de transformador em estrela é aterrado com um eletrodo de terra. O neutro, chegando ao quadro geral de entrada, deverá ser aterrado, *não* podendo essa ligação à terra realizar-se por meio de uma ligação ao encanamento abastecedor de água do prédio, conforme determina a NBR 5.410:1997.

4.7.5 O CHOQUE ELÉTRICO

O contato entre um condutor vivo e a massa de um elemento metálico, a corrente de fuga normal, ou ainda uma deficiência ou falta de isolamento em um condutor ou equipamento (máquina de lavar roupa, chuveiro, geladeira etc.), podem representar risco. Uma pessoa que neles venha a tocar recebe uma descarga de corrente, em virtude da diferença de potencial entre a fase energizada e a terra. A corrente atravessa o corpo humano, no sentido da terra. O choque elétrico e seus efeitos serão tanto maiores quanto maiores forem a superfície do corpo humano em contato com o condutor e com a terra, a intensidade da corrente, o percurso da corrente no corpo humano e o tempo de duração do choque.

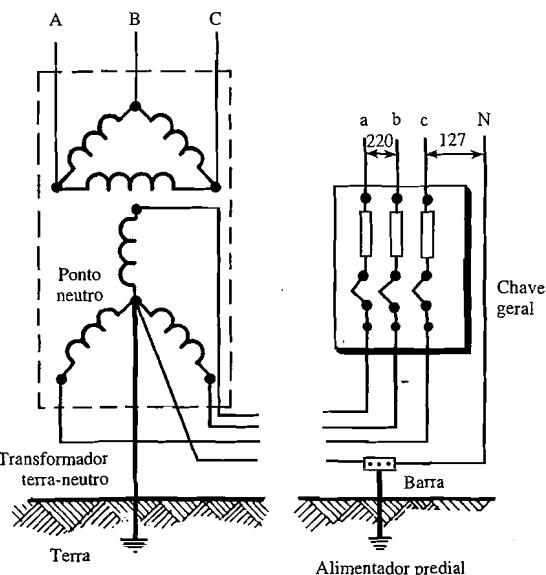


Fig. 4.10 Ligação à terra do alimentador predial, em sistema de BT, 220/127V

Para evitar que a pessoa receba essa descarga, funcionando como um condutor terra, as carcaças dos motores e dos equipamentos elétricos são ligadas à terra. Assim, quando houver falha no isolamento ou um contato de elemento energizado com a carcaça do equipamento, a corrente irá diretamente à terra, curto-circuito que provocará a queima do fusível de proteção da fase ou o desligamento do disjuntor.

Apesar do cuidado que existe no isolamento, muitos equipamentos, mesmo em condições normais de funcionamento, apresentam correntes de "fuga" através de suas isolações. Esta corrente, caracterizada pela chamada *corrente diferencial-residual*, seria nula se não houvesse fugas. Quando essa corrente atinge determinado valor, provoca a atuação de um dispositivo de proteção denominado *dispositivo de proteção à corrente diferencial-residual* (dispositivo DR). Em geral, o dispositivo DR vem incorporado ao disjuntor termomagnético que protege o circuito. No entanto, existem dispositivos DR isolados, que são instalados nos quadros terminais, mas só proporcionam proteção contra choques, e não contra sobrecarga e curto-circuitos.

O *choque elétrico* pode produzir na vítima o que se denomina "morte aparente", isto é, a perda dos sentidos, *anoxia* (paralisação da respiração por falta de oxigênio), *asfixia* (ausência de respiração) e *anoxemia* (ausência de oxigênio no sangue como consequência da anoxia). A violenta contração muscular devida ao choque pode afetar o músculo cardíaco, determinando sua paralisiação e a morte. Não havendo fibrilação ventricular, o paciente tem condições de sobreviver, se socorrido a tempo.

As alterações musculares e outros efeitos fisiológicos da corrente (queimaduras, efeitos eletrolíticos etc.) irão depender da intensidade e do percurso da corrente pelo corpo humano. A corrente poderá atingir partes vitais ou não. Um dos casos mais graves é aquele em que a pessoa segura com uma das mãos o fio fase e com a outra o fio neutro, pois a corrente entra por uma das mãos e, antes de sair pela outra, passa pelo tórax, onde se acham órgãos vitais para a respiração e a circulação (Fig. 4.11 a).

Se a pessoa seguir um fio desencapado ou apertá-lo com um alicate sem isolamento, a corrente segue das mãos para os pés, descarregando na terra. A corrente passa pelo diafragma e pela região abdominal, e os efeitos podem ser graves (Fig. 4.11 b.).

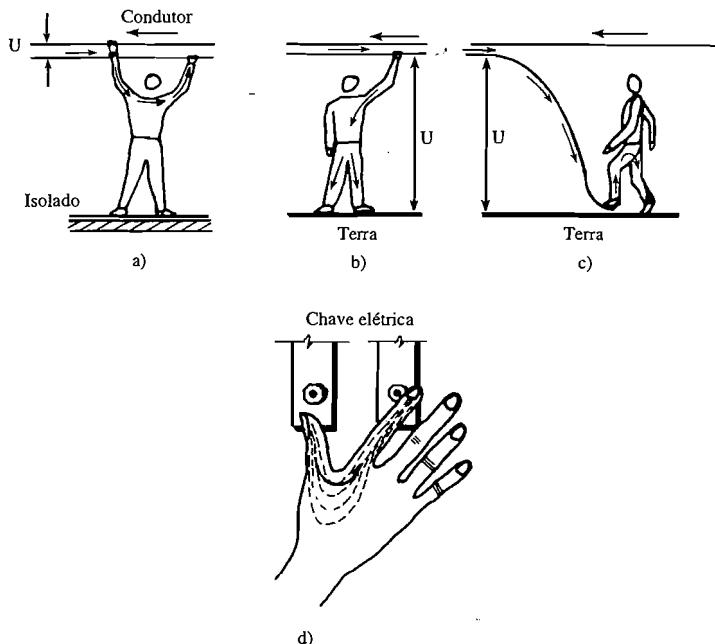


Fig. 4.11 Percorso da corrente no corpo humano quando ocorre um choque elétrico

Quando se pisa num condutor desencapado, a corrente circula através das pernas, coxas e abdômen. O risco é, no caso, menor do que o anterior (Fig. 4.11 c).

Tocando-se com os dedos a fase e o neutro, ou a fase e a terra, o percurso da corrente é pequeno, e as consequências não são graves (Fig. 4.11 d).

O organismo humano é mais sensível à corrente alternada do que à corrente contínua. Na frequência de 60 hertz, o limiar de sensação de corrente alternada é de 1 miliampère, ao passo que no caso da corrente contínua é de 5 mA. As perturbações orgânicas são mais acentuadas em acidentes com correntes de baixa frequência, denominadas industriais, do que para as frequências elevadas. O corpo humano comporta-se como condutor complexo, mas, numa simplificação, podemos assemelhá-lo a um condutor simples e homogêneo. Suponhamos, portanto, que, interposto a um circuito energizado sob uma tensão U , o corpo seja percorrido por uma corrente elétrica i , determinada por:

$$i = \frac{U}{R_{\text{cont},1} + R_{\text{cont},2} + R_{\text{corpo}}}$$

$R_{\text{cont},1}$ e $R_{\text{cont},2}$ são resistências de contato do corpo com os condutores ou entre condutor e terra. São da ordem de 15.000 ohms por cm^2 de pele. R_{corpo} é a resistência do corpo à passagem da corrente. Depende do percurso, isto é, dos pontos de ligação do corpo com as partes energizadas dos circuitos. $R_{\text{corpo}} \approx 500$ ohms, desde a palma da mão à outra ou à planta do pé. Quando a pele se acha molhada, a resistência de contato torna-se menor porque a água penetra em seus poros e melhora o contato.

A Tabela 4.22 indica valores de resistência total para o caso de frequência de 60 Hz, diversas hipóteses de contato do corpo com elementos energizados.

Tabela 4.22 Resistência total, incluindo as resistências por contatos para corrente alternada — 60 Hz

Situação	Resistência total ohms (ordem de grandeza)	Corrente no corpo sob a tensão de 100 volts (miliampères)
1. A corrente entra pela ponta do dedo de uma das mãos e sai pela ponta do dedo da outra mão (dedos secos)	15.700	6
2. A corrente entra pela palma de uma das mãos e sai pela palma da outra mão (secas)	900	111
3. A corrente entra pela ponta do dedo e sai pelos pés calçados	18.500	5
4. A corrente entra pela ponta dos dedos e sai pelos pés calçados ou descalços (molhados)	15.500	6
5. A corrente entra pela mão através de uma ferramenta e sai pelos pés calçados (molhados)	600	116
6. A corrente entra pela mão molhada e sai por todo o corpo mergulhado em uma banheira	500	200

A partir de uma corrente de 9 mA, os choques vão se tornando cada vez mais perigosos, conforme se pode observar pela Tabela 4.23.

Exemplo 4.11

Suponhamos que haja uma passagem de corrente para a estrutura externa de uma máquina de lavar roupa, repousando em pés isolados e alimentada de água, por meio de tubo de borracha sintética. Uma pessoa apóia uma das mãos na máquina e com a outra toca a torneira para abastecer a máquina. A pessoa tem calçados de borracha. Qual o efeito da corrente sobre ela, sendo a tensão de 120 volts?

Solução

A palma da mão mede aproximadamente 60 a 80 cm^2 , digamos 60 cm^2 . A ponta dos dedos que toca a torneira tem 1 cm^2 .

- As resistências a considerar são:

$$\begin{aligned} 1.^{\text{a}} \text{ mão: } 15.000 \text{ ohms} &\div 60 \text{ cm}^2 = & 250 \\ 2.^{\text{a}} \text{ mão (dedo): } 15.000 &\div 1 \text{ cm}^2 = & 15.000 \\ \text{Corpo} &= & 500 \\ \text{Resistência total} &= & 15.750 \text{ ohms} \end{aligned}$$

- Intensidade da corrente:

$$I = \frac{120}{15.750} = 0,0077 \text{ A} = 7,7 \text{ mA}$$

Tabela 4.23 Efeitos do choque elétrico em pessoas adultas, jovens e sadias

Intensidade da corrente alternada que percorre o corpo (60 Hz)	Perturbações possíveis durante o choque	Estado possível após o choque	Salvamento	Resultado final mais provável
1 milampère (iniciar de sensação)	Nenhuma	Normal	—	Normal
1 a 9 milampères	Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta. Contracções musculares	Normal	Desnecessário	Normal
9 a 20 milampères	Sensações dolorosas. Contracções violentas. Asfixia. Anoxia. Anoxemia. Perturbações circulatórias	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
20 a 100 milampères	Sensação insuportável. Contracções violentas. Anoxia. Anoxemia. Asfixia. Perturbações circulatórias graves, inclusive, às vezes, fibrilação ventricular	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento ou morte. Muitas vezes não há tempo de salvar, e a morte ocorre em poucos minutos.
Acima de 100 milampères	Asfixia imediata. Fibrilação ventricular. Alterações musculares. Queimaduras	Morte aparente ou morte imediata	Muito difícil	Morte
Vários ampères	Asfixia imediata. Queimaduras graves	Morte aparente ou morte imediata	Praticamente impossível	Morte



Fig. 4.12 Aterramento da máquina de lavar

A corrente é inferior a 9 mA e, embora produza efeito desagradável, não é ainda perigoso. Se a pessoa, porém, segurar a torneira, a área de contato pode ser de cerca de 6 cm^2 , de modo que a resistência da mão passa a ser de $15.000 \div 6 = 2.500 \text{ ohms}$, e a resistência total cai para 3.250 ohms. A corrente aumenta para $120 \div 3.250 = 0,037 = 37 \text{ mA}$, podendo provocar, portanto, até mesmo a morte aparente.

Recomenda-se, assim, que a máquina de lavar roupa fique, se possível, sobre pés metálicos e que sua caixa seja ligada ao condutor de aterramento.

Se a corrente de fuga tornar-se excessiva, o disjuntor termomagnético de proteção desarmará, o mesmo acontecendo se houver, apenas, dispositivo DR. Se ocorrer um curto-círcuito, então o fusível queimaré, caso a proteção seja realizada com auxílio do mesmo.

■ Exemplo 4.12

Um chuveiro elétrico (220 V — 2.600 W), ligado a uma tubulação de plástico, apresenta um defeito de isolamento. Ao tomar banho, a pessoa toca com o dedo (1 cm^2) a caixa do chuveiro e está com os pés na água ($2 \text{ pés} \times 100 \text{ cm}^2 = 200 \text{ cm}^2$). O choque terá gravidade?

Solução

- As resistências são:

Ponta do dedo:	$15.000 \text{ ohms} \div 1 = 15.000 \text{ ohms}$
Plantas dos pés:	$15.000 \div 200 = 75$
Corpo	$= 500$
Resistência total	$= 15.575 \text{ ohms}$
- Intensidade da corrente

$$I = \frac{220}{15.575} = 0,014 \text{ A} = 14 \text{ mA}$$

Pela Tabela 4.23, vemos que o choque para correntes entre 9 e 20 mA já se apresenta como perigoso. A intensidade da corrente poderá acarretar danos graves se a pessoa segurar o chuveiro, aumentando a superfície de contato da mão. É imprescindível fazer-se um aterramento, ligando a caixa do chuveiro ao condutor de aterramento. No caso de haver fuga, além do limite de segurança, o dispositivo DR ou o disjuntor desarmará, e se houver um curto-círcuito o próprio fusível queimaré, se não operar o disjuntor.

Nos banheiros não devem ser instalados interruptores e tomadas no interior do boxe do chuveiro ou próximo da banheira (no chamado “volume-invólucro”).

Existem equipamentos que possuem uma isolação especial e que dispensam o emprego do condutor de proteção. São os *equipamentos classe II*.

Na instalação de um banheiro e de uma cozinha, devemos protegê-la através de *ligação equipotencial*. Consiste em interligar todas as canalizações metálicas, os elementos metálicos dos aparelhos sanitários, o corpo da banheira (se for do tipo que tenha pés), os ralos e as estruturas metálicas do boxe e das esquadrias por um condutor de aterramento. Este condutor poderá ter seção mínima de $2,5 \text{ mm}^2$, se ficar em um eletroduto, e 4 mm^2 , se ficar aparente, fixado à parede. O condutor será ligado a uma fita metálica de seção mínima de 20 mm^2 e espessura mínima de 1 mm. Essa fita ficará embutida diretamente nas paredes, no solo ou no rebaixo da laje do banheiro.

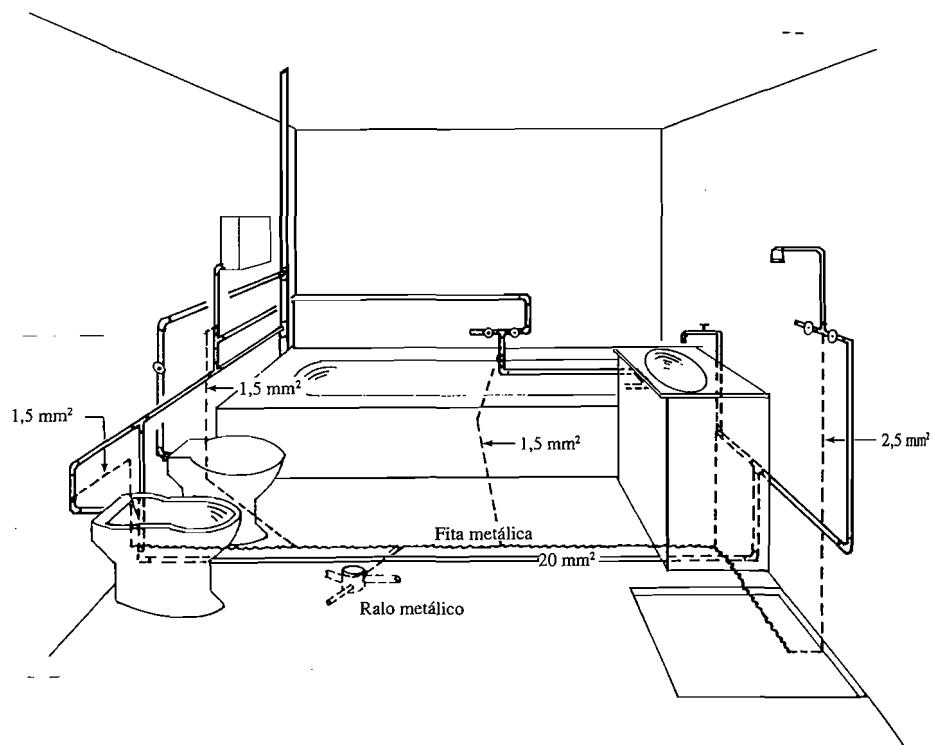


Fig. 4.13 Ligação equipotencial em um banheiro, com tubulação metálica (cobre, por exemplo)

4.8 CORES DOS CONDUTORES

A NBR 5.410:1997 recomenda a adoção das seguintes cores no encapamento isolante dos condutores:

- condutores fases: preto, branco, vermelho ou cinza;
- condutor neutro: azul claro;
- condutor terra: verde ou verde-amarelo.

No aterramento:

- condutor PE: verde ou verde-amarelo;
- condutor PEN: azul claro.

5

Comando, Controle e Proteção dos Circuitos

5.1 INTRODUÇÃO

Os circuitos elétricos são dotados de dispositivos que permitem:

a) A interrupção da passagem da corrente por seccionamento. São os aparelhos de comando. Compreendem os interruptores, as chaves de faca, os contatores, os disjuntores, as barras de seccionamento etc.

Estes dispositivos permitem a operação e a manutenção dos circuitos por eles manobrados.

b) A proteção contra curtos-circuitos ou sobrecargas. Em certos casos, o mesmo dispositivo permite alcançar os objetivos acima citados (disjuntores, p. ex.).

Vejamos os dispositivos mais comumente usados em instalações de baixa tensão para as finalidades mencionadas. Destacamos a NBR 5361, Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas sobre “Disjuntores de baixa tensão” emitida em setembro de 1998. Essa norma obedeceu à IEC 947-2.

5.2 DISPOSITIVOS DE COMANDO DOS CIRCUITOS

Vimos, no Cap. 3, vários tipos de interruptores unipolares que ligam ou desligam lâmpadas e que interrompem a corrente no fio-fase, ao qual são ligados. Observamos, na oportunidade, que o fio-neutro vai à lâmpada e não ao interruptor. Analisamos, também, o funcionamento dos interruptores *three-way* e *four-way*. Uma tomada de corrente também pode ser considerada como um dispositivo de seccionamento.

Quando o circuito for constituído por dois condutores-fase de um circuito bifásico, o interruptor será bipolar, e se for constituído por três condutores-fase de um circuito trifásico, o interruptor ou a chave desligadora deverá ser tripolar, de modo a ser possível o desligamento dos três condutores simultaneamente.

Para cargas monofásicas de 550 W em 110 V, ou 1.100 W em 220 V, empregam-se interruptores comuns. No caso de iluminação fluorescente, admite-se o emprego desses interruptores, porém a corrente a prever no interruptor deverá ser a metade da corrente nominal do mesmo.

A Pial-Legrand, a Luminex, a Lorenzetti e outras empresas fabricam interruptores de 6 A e 10 A, 250 V, de embutir e sobrepor.

As chaves desligadoras podem ser acionadas direta e manualmente, como se vê na Fig. 5.1.

Existem, também, chaves que podem ser comandadas a distância. São as *chaves magnéticas*. Podemos definir uma chave magnética simples como sendo uma chave de duas posições, acionada por eletroímã, compreendendo um circuito magnético formado por um núcleo (parte fixa) e uma armadura (parte móvel). Possui uma bobina no núcleo que, alimentada por um circuito externo, se energiza, provocando o movimento da armadura no sentido de fechamento do circuito. As chaves magnéticas podem ser de dois tipos:

- *Chave magnética protetora*. É a combinação da chave magnética com relés de proteção, geralmente o relé de sobrecarga, pois como as chaves magnéticas simples são apenas elementos de comando, não apresentam proteção contra sobrecarga.

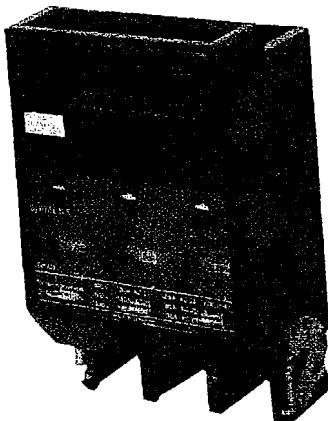


Fig. 5.1 Chave seccionadora tripolar

• **Chave magnética combinada.** É a associação da chave magnética simples, com relé térmico e fusíveis ou disjuntor. Esta chave oferece a proteção mínima para qualquer motor. Empregam-se em operações de circuitos de força, de iluminação ou circuitos de força e luz combinados, nos quais se deseja ligar ou desligar com muita frequência, a partir de um ou de vários pontos de comando. São recomendadas em circuitos usados em processamentos automáticos, onde deve ser mantida a continuidade da ligação do circuito e onde a chave deve controlar a iluminação de um sistema no qual as fortes flutuações de tensão poderiam desligar uma chave de outro tipo.

O comando das chaves magnéticas pode ser feito pela ação manual sobre um botão ou, automaticamente, pela atuação da corrente de um circuito onde se acha, por exemplo, um pressostato, um termostato, um indicador de nível ou outro tipo de sensor que ligue e desligue ou revele a necessidade de ligar ou desligar a energia de um circuito.

• Pressostato

Dispositivo de manobra mecânica que opera em função de pressões predeterminadas, atingidas em uma ou mais partes determinadas do equipamento controlado. Sinônimo: "dispositivo de pressão".

• Termostato

Dispositivo sensível à temperatura que fecha ou abre automaticamente um circuito, em função de temperaturas predeterminadas atingidas em uma ou mais partes do equipamento controlado.

5.2.1 CONTATORES

São dispositivos eletromecânicos que permitem o comando de um circuito a distância. São chaves de operação não-manual, que têm uma única posição de repouso e são capazes de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas de funcionamento previstas. Podem possuir contatos auxiliares para comando, sinalização e outras funções. A Fig. 5.3 mostra um contator tripolar.

Aplicações dos contatores

- Na ligação e desligamento de cargas não-indutivas, como fornos de resistência, aquecedores de água etc.

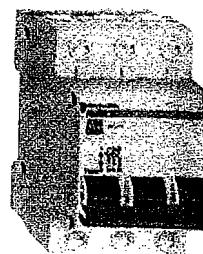


Fig. 5.2 Disjuntor tripolar. Fabricante Merlin Gerin, Group Schneider.



Fig. 5.3 Contator tripolar para comando de motores e circuitos em geral. Fabricante Inepar-L.G

- Partida e parada de motores (em gaiola e em anel).

■ Exemplo 5.1

Pretende-se ligar um aquecedor elétrico (*boiler*) de 6 kW, 220 V, a partir de um quadro geral de comando, distante 80 metros do mesmo. Analisar a conveniência de utilizar um contator comandado por um interruptor, ou chave unipolar colocada no quadro de comando.

Solução

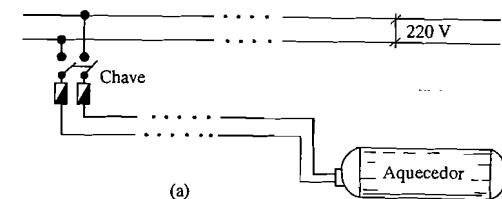
Intensidade de corrente absorvida pelo *boiler*:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6.000 \text{ (W)}}{220 \text{ (V)}} = 27,27 \text{ A}$$

Consideremos duas hipóteses, traduzidas esquematicamente na Fig. 5.4.

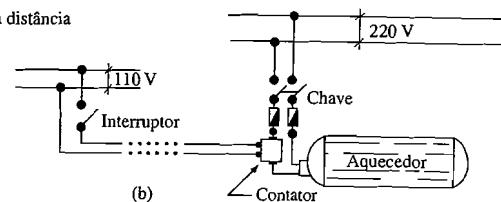
- a) A chave de comando acha-se no local onde o operador pretende ligar ou desligar manualmente o *boiler*. A corrente de alimentação de 27,27 A deverá passar pela chave e percorrer a distância da chave ao aquecedor.

• Comando local



(a)

• Comando a distância



(b)

Fig. 5.4 Esquema de ligação do aquecedor elétrico (*boiler*), mostrando os dispositivos a determinar

- b) Se for usado um contator, podemos comandá-lo por um simples interruptor sob 110 V ou termostato, energizando sua bobina, não precisando estar no local onde está o contator para comandá-lo. O comando se faz a distância.

■ Exemplo 5.2

Um aquecedor elétrico de água de 5 kW, 220 V, deve ligar automaticamente por meio de um termostato, quando a temperatura da água baixar a 70°C, e desligar quando atingir 85°C (Fig. 5.5). Indicar o esquema para esta instalação.

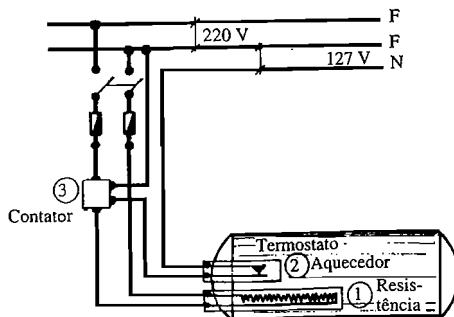


Fig. 5.5 Esquema de ligação de um aquecedor elétrico (*boiler*) por meio de um termostato

Solução

A corrente na resistência (1) que aquece o *boiler* é:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5.000 \text{ (W)}}{220 \text{ (V)}} = 22,73 \text{ A}$$

Certos termostatos (2) não têm condições de suportar uma corrente dessa intensidade e, por isso, devemos recorrer a um contator (3) pelo qual pode passar a corrente de 22,73 A, e o termostato comanda a corrente que passa pela bobina do contator.

O circuito do termostato-contator pode ser alimentado em 127 V, possuindo um transformador de comando.

Os contatores permitem um elevadíssimo número de operações sem que seja necessária uma revisão ou substituição de peças.

Convém notar que os contatores *não têm por função proteger as instalações* contra as correntes de curto-circuito ou sobrecargas prolongadas, mas devem poder suportar correntes transitórias que normalmente venham a ocorrer, inerentes às operações no circuito que comandam. Pode-se, porém, associar aos contatores fusíveis que irão assegurar proteção contra curtos-circuitos.

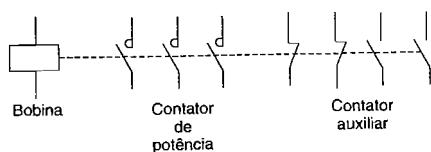


Fig. 5.6 Contator — esquema de ligações

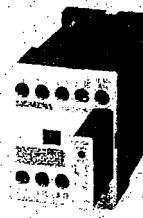


Fig. 5.7 Contator de acoplamento tamanho 500, geração Sirius 3R. Fabricante Siemens

5.2.2 RELÉ TÉRMICO

Relé de medição a tempo dependente. É o que protege um equipamento contra danos térmicos de origem elétrica, pela medição da corrente que percorre o equipamento protegido e utilizando uma curva característica que simula o seu comportamento térmico (ABNT).

5.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DOS CIRCUITOS

Os condutores e equipamentos que fazem parte de um circuito elétrico devem ser protegidos contra curtos-circuitos e contra sobrecargas (intensidade de corrente acima do valor compatível com o aquecimento do condutor e que poderiam danificar a isoliação do mesmo ou deteriorar o equipamento). Os dispositivos classificam-se conforme o objetivo a que se destinam:

- dispositivos que assegurem apenas proteção contra curto-circuito;
 - dispositivos que protejam eficazmente apenas contra sobrecargas.
- Vejamos algumas particularidades das categorias referidas.

5.3.1 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA CURTOS-CIRCUITOS

Quando ocorrer um curto-círcito, o dispositivo de proteção deverá interromper a corrente, antes que os efeitos térmicos e mecânicos da mesma possam tornar-se perigosos aos condutores, terminais e equipamentos. Em instalações de grande carga e nas de alta tensão, deve ser calculada a corrente de curto-círcito nos pontos importantes da rede.

A NBR5410 estabelece que “a capacidade de interrupção dos dispositivos de proteção contra curtos-circuitos deve ser igual ou superior à corrente de curto-círcito presumida no ponto onde o dispositivo de proteção seja instalado, exceto quando houver um outro dispositivo colocado mais próximo à fonte de alimentação e que tenha capacidade de interrupção suficiente. Neste caso, as características dos dois dispositivos devem ser coordenadas de tal forma que os efeitos das correntes de curto-círcito que os dispositivos deixam passar não danifiquem o dispositivo colocado mais distanciado da fonte, bem como os condutores protegidos por esses dispositivos”.

O tempo de interrupção das correntes resultantes de um curto-círcito que se produz em um ponto qualquer do circuito deve ser inferior ao tempo que levaria a temperatura dos condutores para atingir o limite máximo admissível.

O tempo necessário t para que uma corrente de curto-círcito, de duração inferior a 5 segundos, eleve a temperatura dos condutores até a temperatura limite para sua isoliação pode ser calculado pela fórmula:

$$t \leq \frac{k^2 \times S^2}{I^2}$$

onde:

- t = duração em segundos da corrente de curto-circuito;
- S = seção de condutor em mm^2 ;
- I = valor da corrente de curto-circuito, em A;
- k = 115, para condutores de cabo isolado com PVC e emendas soldadas a estanho nos condutores de cobre correspondendo a uma temperatura de 160°C;
- k = 135, para condutores de cobre isolado com EPR ou XLPE;
- k = 74, para condutores de alumínio isolados com PVC;
- k = 87, para condutores de alumínio isolados com EPR ou XLPE.

Os dispositivos empregados na proteção contra curtos-circuitos são:

- a) Fusíveis.
- b) Disjuntores.

Os disjuntores termomagnéticos protegem, também, contra sobrecargas prolongadas. O tempo máximo de duração do curto-círcito também pode ser obtido do gráfico da Fig. 5.8.

Na Fig. 5.8 vemos, por exemplo, que um cabo de 16 mm² suporta uma corrente de curto-círcito de 10 kA por um tempo máximo de dois ciclos, isto é, 0,0335 segundo. O tempo de atuação da proteção será fornecido pelo fabricante do dispositivo utilizado.

■ Exemplo 5.3

Na origem de um circuito de distribuição com condutores isolados de 10 mm², a corrente de curto-círcito obtida na Fig. 5.8, em três ciclos, foi de 5 kA. Daí,

- A capacidade de interrupção nominal mínima do dispositivo que irá proteger o circuito contra correntes de curto-círcito será de 5 kA.
- O dispositivo deverá atuar num tempo não superior a:

$$t = \frac{115^2 \times 10^2}{(5.000)^2} = 0,05 \text{ segundo.}$$

- Um disjuntor termomagnético adequado atuará em cerca de 0,02 s.
- Um fusível adequado atuará em cerca de 0,001 s.

5.3.1.1 Fusíveis

O fusível é um dispositivo adequadamente dimensionado para interromper a corrente de sobrecarga ou curto-círcito.

Tabela 5.1 Temperaturas características dos condutores

Tipo de isolação	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) (°C)	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) (°C)	Temperatura limite de curto-círcuito (condutor) (°C)
Cloreto de polivinila (PVC)	70	100	160
(EPR) Borracha etíleno-propileno	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

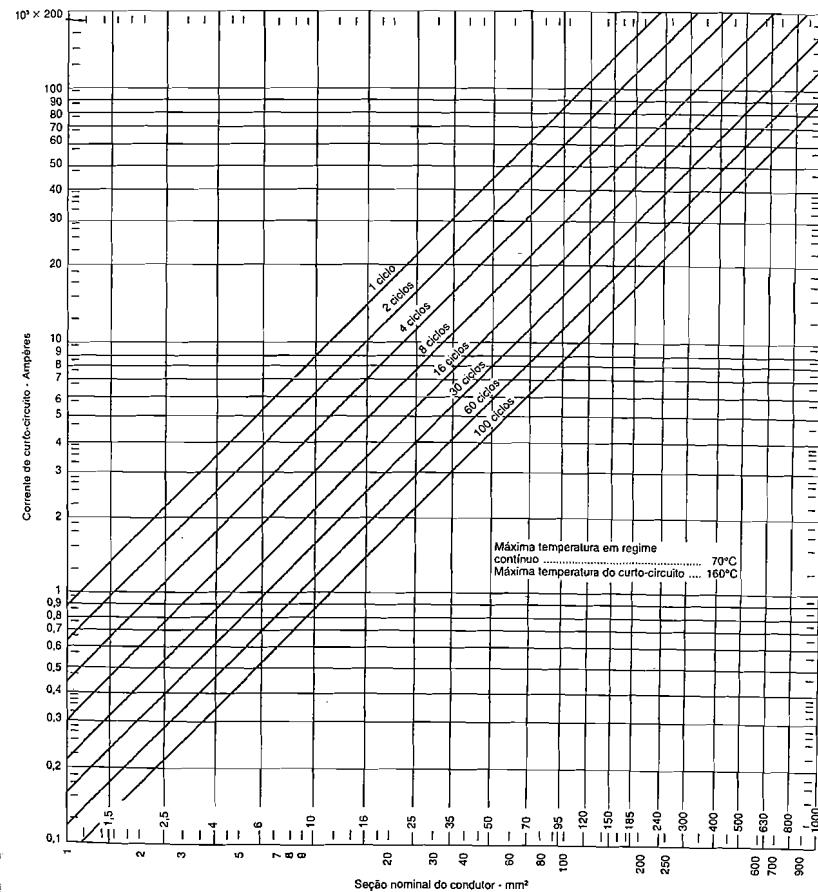


Fig. 5.8 Tempo máximo de duração do curto-círcito

Máxima temperatura em regime contínuo 70°C

Máxima temperatura do curto-círcito 160°C

Os tipos mais usados são:

• Fusível de rolha (Fig. 5.9)

É um fusível de baixa tensão em que um dos contatos é uma peça roscada, que se fixa no contato rosulado correspondente da base.

• Fusível cartucho

É um fusível de baixa tensão cujo elemento fusível é encerrado em um tubo protetor de material isolante, com contatos nas extremidades.

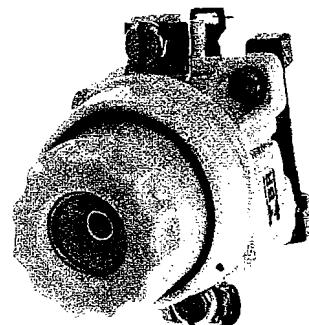


Fig. 5.9 Fusível de rolha Diazed, Siemens

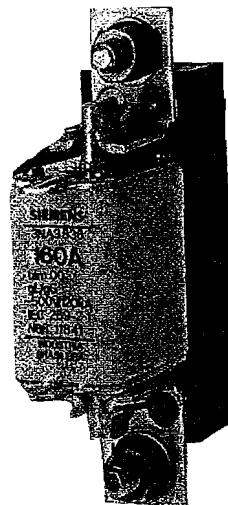


Fig. 5.10 Fusíveis de cartucho NH, Siemens

• **Fusível Diazed (ou tipo "D")**

É um fusível limitador de corrente, de baixa tensão, cujo tempo de interrupção é tão curto que o valor de crista da corrente presumida do circuito não é atingido. Estes fusíveis são usados na proteção de condutores de rede de energia elétrica e circuitos de comando. São empregados em correntes de 2 a 100 A (Fig. 5.9).

Ainda são utilizados, em certos casos, os fusíveis tradicionais de rolha e de cartucho.

■ **Exemplo 5.4**

Para um dado circuito dimensionou-se um fusível Diazed para uma corrente nominal de 10 A. Desse se saber o tempo de fusão para este fusível quando submetido a uma corrente de curto-círcuito de 100 A.



Fig. 5.11 Chave seccionadora tripolar, com fusíveis, sob carga, abertura por tração frontal da tampa, tipo 3NP42. Fabricante Siemens



Fig. 5.12 Fusível Diazed. Fabricante Siemens

Pela Fig. 5.13, entrando na curva do fusível de 10 A, submetido a uma corrente de curto-circuito de 100 A, encontra-se um tempo de fusão de 0,05 s.

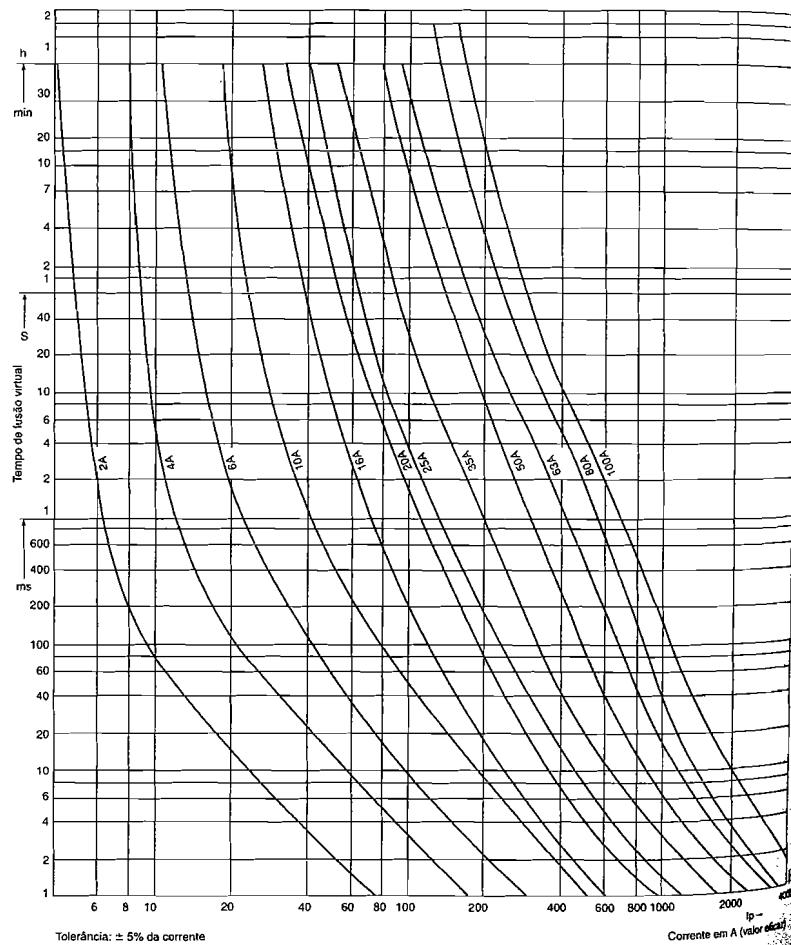


Fig. 5.13 Curva característica tempo de fusão/corrente de curto-círcuito de fusíveis Diazed, 500 V, tipo retardado, Siemens

■ Exemplo 5.5

Num circuito, estimou-se um tempo de duração de 5 segundos para uma corrente de curto-círcuito de 20 A. Que fusíveis Diazed seriam escolhidos?

Entrando na curva da Fig. 5.13 com os valores de $I = 20 \text{ A}$ e $t = 5 \text{ s}$, vemos que as coordenadas se interceptam acima da curva de 6 A. Portanto, o fusível escolhido será de 10 A.

• Fusível NH

É um fusível limitador de corrente de alta capacidade de interrupção, para correntes nominais de 6 a 1.000 A em aplicações industriais. Protegem os circuitos contra curtos-circuitos e também contra sobrecargas de curta duração, como acontece na partida de motores de indução com rotor em gaiola.

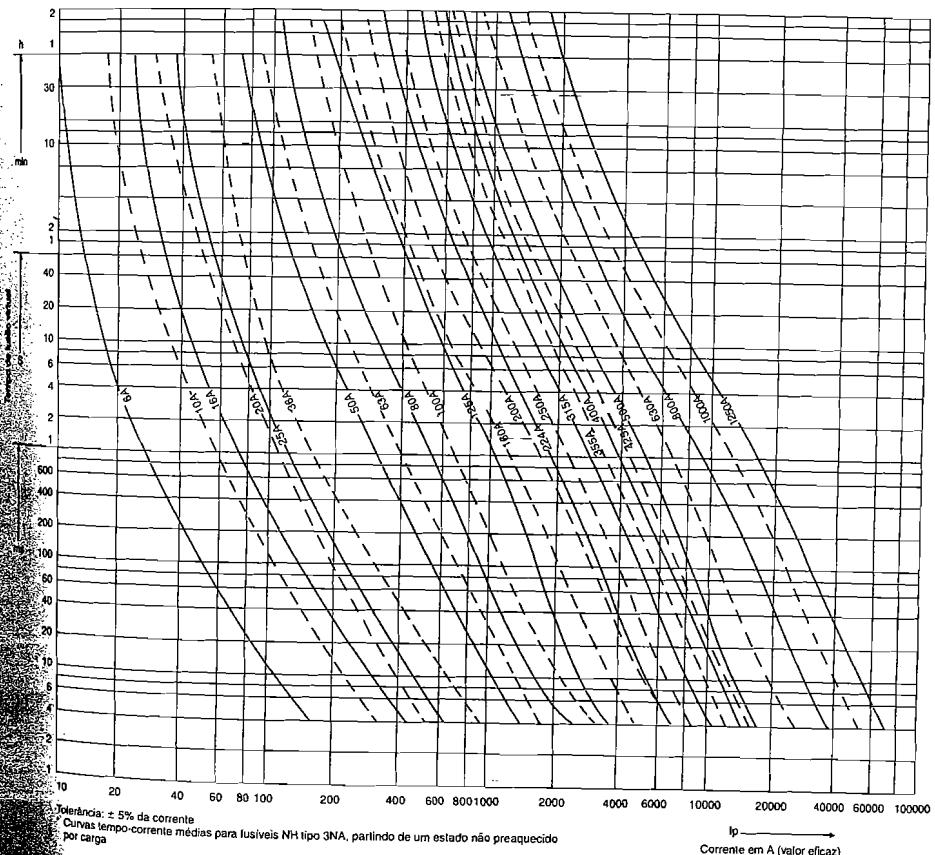


Fig. 5.14 Curva característica tempo de fusão/corrente de curto do fusível NH. Fabricante Siemens

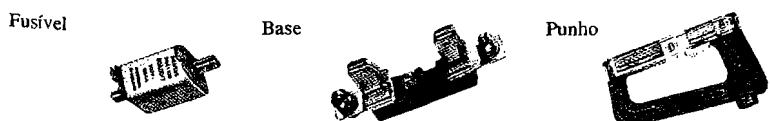


Fig. 5.15 Fusíveis NH. Fabricante Siemens

■ Exemplo 5.6

Qual a corrente de curto-círcuito, com duração de 4 segundos, para a qual um fusível NH de 315 A se acha previsto?

Entrando na curva, Fig. 5.14, com os valores $t = 4$ s e fusível de 315 A, obtemos, no eixo das abscissas, $I = 2.000$ A.

5.3.1.2 Coordenação entre Condutores e Dispositivos de Proteção

A característica de funcionamento de um dispositivo protegendo um circuito contra sobrecargas deve satisfazer as duas condições:

- a) $I_s \leq I_n \leq I_z$
- b) $I_s \leq 1,45 I_z$

Onde:

I_s = corrente de projeto do circuito;

I_z = capacidade de condução de corrente dos condutores;

I_n = corrente nominal do dispositivo de proteção;

I_z = corrente que assegura efetivamente a atuação do dispositivo de proteção; na prática, a corrente I_z é considerada igual à corrente convencional de atuação dos disjuntores.

■ Exemplo 5.7

Tomemos um circuito de distribuição trifásico, com condutores isolados com $I_s = 35$ A.

- Critério de capacidade de condução de corrente: da Tabela 4.8a, vemos que $S = 6 \text{ mm}^2$ ($c/I_z = 36 \text{ A}$).
- Proteção com disjuntor.

$I_s \leq I_n$; logo, escolhemos $I_n = 35$ A

$I_n \leq I_z$; então $35 < 36$. Essa condição é atendida por $S = 6 \text{ mm}^2$.

• Disjuntores

Denominam-se disjuntores os dispositivos de manobra e proteção, capazes de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-círcito.

Os disjuntores possuem um dispositivo de interrupção da corrente constituído por lâminas de metais de coeficientes de dilatação térmica diferentes (latão e aço), soldados. A dilatação desigual das lâminas, por efeito do aquecimento, provocado por uma corrente de sobrecarga faz interromper a passagem da corrente no circuito. Esses dispositivos bimetais são *relés térmicos* e, em certos tipos de disjuntores, são ajustáveis. Além dos relés bimetais, os disjuntores são provados de relés magnéticos (bobinas de abertura), que atuam mecanicamente, desligando o disjuntor quando a corrente é de curta duração (relés de máxima). Desarmam, também, quando ocorre um curto-círcito em uma ou nas três fases. Os tipos que possuem "bobina de mínima" desarmam quando falta tensão em uma das fases.

• Escolha do disjuntor

Para a escolha do disjuntor devem ser fornecidas pelo fabricante as seguintes informações:

- a) tipo (modelo) do disjuntor;
- b) características nominais:

- tensão nominal em Vc.a.;
- nível de isolamento;
- curvas características (tempo × corrente) do disparador térmico e/ou magnético;
- corrente nominal;
- frequência nominal;
- capacidade de estabelecimento em curto-círcuito (kA crista);
- capacidade de interrupção em curto-círcuito simétrico (kA eficaz);
- ciclo de operação.

• Características nominais

Os valores recomendados, em ampères, para a corrente nominal, são os seguintes:

Tabela 5.2

5	10	15	20	25	30	35
40	<u>50</u>	<u>60</u>	<u>63</u>	<u>70</u>	80	90
<u>100</u>	125	<u>150</u>	<u>175</u>	200	<u>225</u>	<u>250</u>
275	300	320	350	400		

Nota — Os valores sublinhados correspondem aos recomendados para a corrente nominal da estrutura.

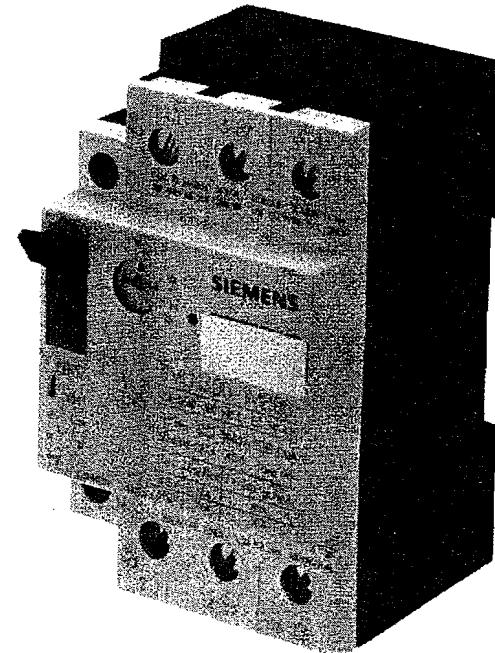


Fig. 5.16 Disjuntor tripolar 3RV, para manobra e proteção. Fabricante Siemens

A Fig. 5.17 representa um disjuntor com proteção térmica e eletromagnética.

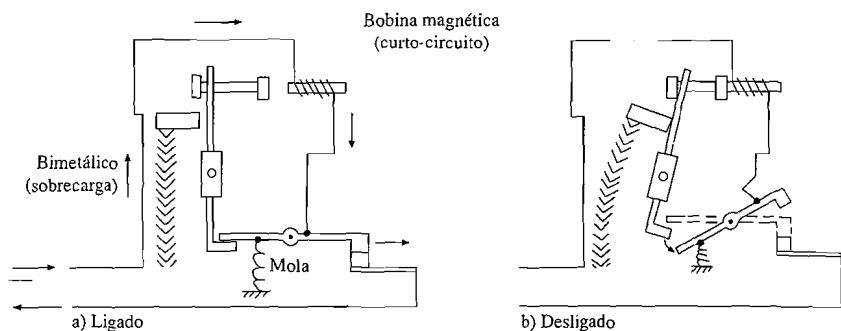


Fig. 5.17 Disjuntor com proteção térmica e eletromagnética

Existem disjuntores termomagnéticos compensados que contêm um segundo par bimetalico, capaz de neutralizar o efeito de eventual elevação de temperatura ambiente.

Os disjuntores desarmam as três fases quando a sobrecarga ocorre em apenas uma das fases.

O disjuntor usado na proteção de circuitos de baixa tensão é o do tipo em caixa moldada (caixa suporte de material isolante). Como exemplo de uso dos disjuntores de caixa moldada, temos que para a proteção de circuitos de iluminação e tomadas são usados os disjuntores em caixa moldada monofásicos.

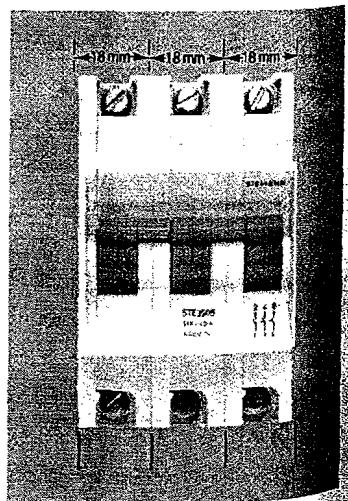
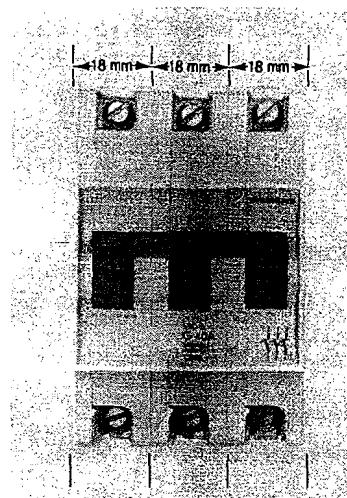


Fig. 5.18 Minidisjuntor de proteção termomagnética, com dispositivo de corte ultra-rápido e marca de extinção de arco de construção especial. Os minidisjuntores de baixa tensão, unipolares, bipolares e tripolares, tipo n, de fabricação Siemens, possuem corrente nominal de 0,5 A, 1 A, 2 A, 4 A, 6 A, 10 A, 15 A até 125 A

Na Fig. 5.19, vemos que o motor é comandado pela botoeira (3), pelo relé térmico (1) e pelo disjuntor magnético (2). A botoeira pode ser substituída pelo comando através de um termostato, uma chave-bóia, um pressostato, uma célula fotoelétrica etc.

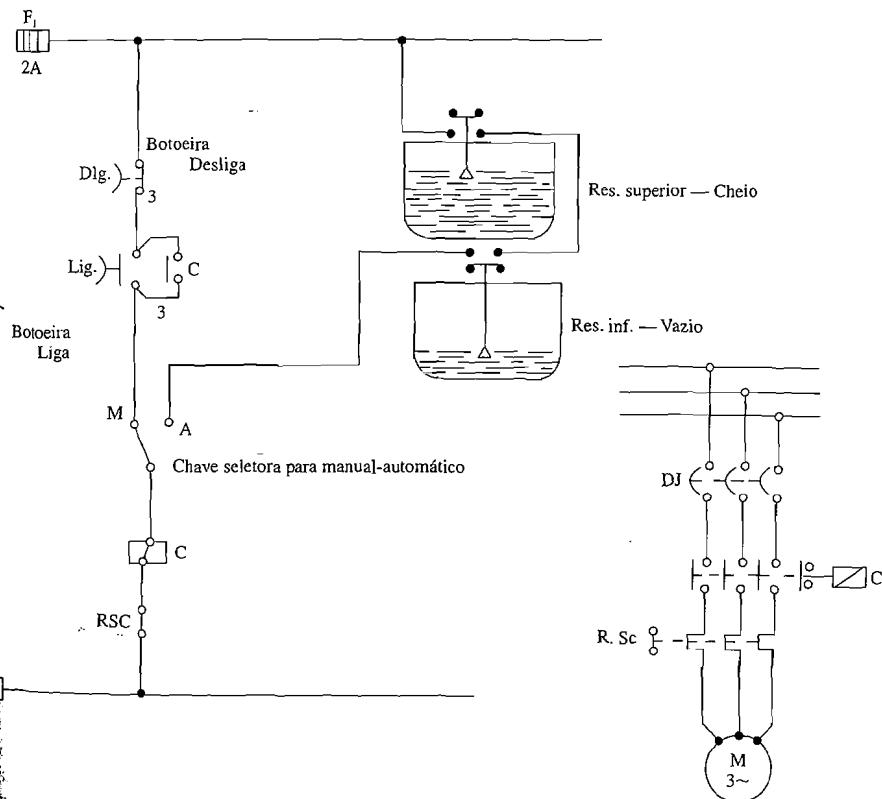


Fig. 5.19 Comando e proteção de um motor trifásico através dos automáticos de bóia

RELÉS DE SUBTENSÃO E SOBRECORRENTE

Muitos disjuntores, além dos elementos térmicos e eletromagnéticos, podem ter como acessórios bobina de mínima tensão (também chamada relé de subtensão), que numa falta ou queda de tensão interrompe a passagem de corrente, não danificando os equipamentos (no caso, um motor trifásico ligado à rede de alimentação). Na Fig. 5.20, vê-se que o relé (eletroímã) (1) mantém a peça (2), travando a peça e (3) fechando o circuito. A mola (4) não tem condições de fazer baixar a peça (2). Faltando tensão, o eletroímã (1) não funciona e a mola (4) desloca a peça (2). Com isto, a barra (3) é destravada e, acionada pela mola (5), desarma as três fases da chave, e esta só poderá ser rearmada manualmente.

Assim, há certeza de que o motor não voltará a funcionar quando a tensão não se restabelecer.

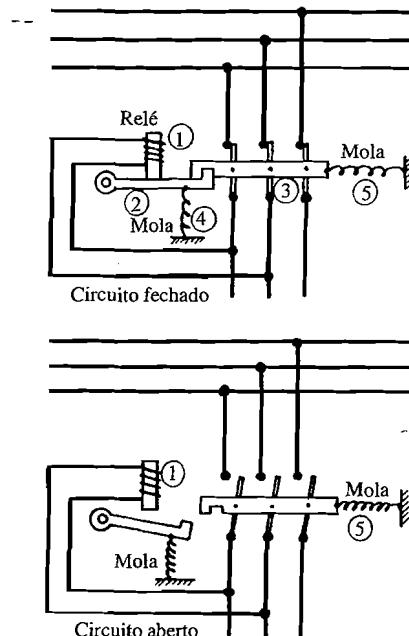


Fig. 5.20 Relé de mínima tensão

5.5 DISPOSITIVO DIFERENCIAL-RESIDUAL

Este dispositivo tem por finalidade a proteção de vidas humanas contra acidentes provocados por choques, no contato acidental com redes ou equipamentos elétricos energizados. Oferece, também, proteção contra incêndios que podem ser provocados por falhas no isolamento dos condutores e equipamentos. A experiência mostra que não se pode, na prática, evitar que ocorra uma certa corrente de fuga natural para a terra, apesar do isolamento da instalação. Quando a corrente de fuga atinge valor que possa comprometer a desejada segurança para seres humanos (30 mA) e instalações industriais (500 mA), o dispositivo atua, desligando o circuito. O interruptor de corrente DR pode ser usado em redes elétricas com neutro aterrado, sendo necessário que o neutro aterrado seja conectado ao dispositivo. Após este dispositivo, o neutro aterrado deve se tornar um neutro isolado, dando origem a um circuito a 5 fios (3F + N + T).

Como exemplo, citamos o modelo DR, tipo 5SM134, que funciona para uma corrente nominal de 40 A e desarma para uma corrente nominal de fuga de 30 mA, sob tensão de 220 a 380 V.

A Tabela 5.3 indica, também, o interruptor para corrente nominal de fuga de 500 mA, aplicável, apenas, para proteção de instalações prediais e industriais contra riscos de incêndio, uma vez que esse valor de corrente de fuga ultrapassa em muito o limite permitível para proteção contra riscos pessoais.

A Fig. 5.21 mostra o interruptor de corrente de fuga modelo DR, da Siemens, para $I_{\text{nominal}} = 40 \text{ A}$ e $I_{\text{fuga}} = 30 \text{ mA}$.

Além da proteção convencional de circuito e aparelhos domésticos, recomenda-se a instalação de interruptor de corrente de fuga em casas e apartamentos onde é considerado

Tabela 5.3 Interruptores de corrente de fuga DR. Fabricante Siemens.

Tipo	Corrente nominal (A)	Corrente nominal de fuga (mA)	Tensão de operação (V)	Proteção de curto-circuito fusível máximo
5SZ3 446	40	30	220-380	80
5SZ3 466	63	30	220-380	100
5SZ3 473	125	30	220-380	125

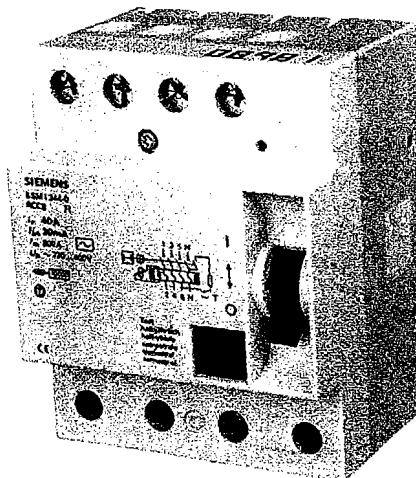


Fig. 5.21 Interruptor de corrente de fuga DR, modelo 5SM1. Fabricante Siemens

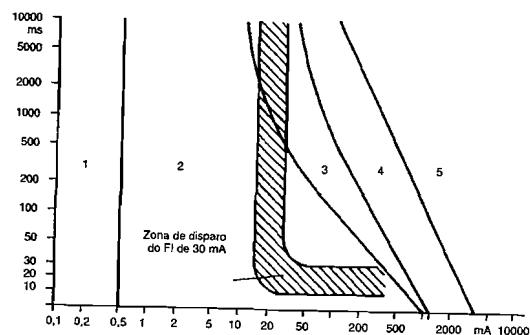


Fig. 5.22 Influência da corrente elétrica sobre o corpo humano

número de aparelhos domésticos, o que tende a aumentar o perigo de acidentes. Em locais úmidos, ambientes molhados ou com riscos de incêndio, são especialmente recomendados.

Efeitos da corrente de fuga. Observando-se as cinco faixas da Fig. 5.22, vemos que a faixa 1, até 0,5 mA, representa as condições para as quais não há reação. Para a faixa 2, não há normalmente efeito fisiopatológico. Na faixa 3 não há perigo de fibrilação. Já na faixa 4 há possibilidade de ocorrer fibrilação (probabilidade de 50%). Na faixa 5 há perigo de fibrilação (probabilidade maior que 50%).

5.6 RELÉS DE TEMPO

São dispositivos para utilização em manobras que exigem temporização, em esquemas de comando, para partida, proteção e regulagem. Eles têm excitação permanente e acionamento em corrente alternada. Os relés de tempo do tipo eletrônico também podem ter aplicações em corrente contínua.

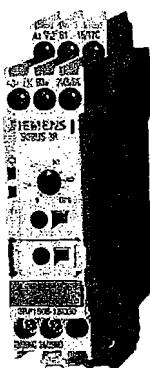


Fig. 5.23 Relé de tempo eletrônico 3RP15. Fabricante Siemens

5.7 MASTER SWITCH

Quando se pretende comandar, de um único ponto, várias lâmpadas situadas em locais diferentes, pode-se empregar o *master switch*, ou seja, *chave-mestra* do circuito ou dos circuitos em que se acham as lâmpadas ou aparelhos. As lâmpadas podem ter por finalidade o alarme contra incêndio e podem ser substituídas por cigarros, sirenes ou outras formas de aviso de alarme, em uma emergência. O *master switch*, quando associado em um ou mais circuitos com interruptores *three-way* e *four-way*, atua de modo que as lâmpadas sejam normalmente comandadas por estes interruptores e, na emergência ou quando desejado, pela chave descrita (Fig. 5.24).

Automático de bóia. A ligação e o desligamento automático das bombas de água de um edifício são realizados por um dispositivo conhecido como *automático de bóia*, *chave de bóia* ou por “*controle automático*” de nível.

Um dos sistemas mais empregados, por permitir o comando da bomba, conforme a exigência do reservatório superior e a disponibilidade de água no reservatório inferior, utiliza o deslocamento de uma haste de latão vertical ao longo da qual desliza um flutuador, em função do nível no reservatório. Existem dois “esbarros” fixados por parafusos à haste, nas posições extremas entre as quais se permite que o nível varie. Quando o ní-

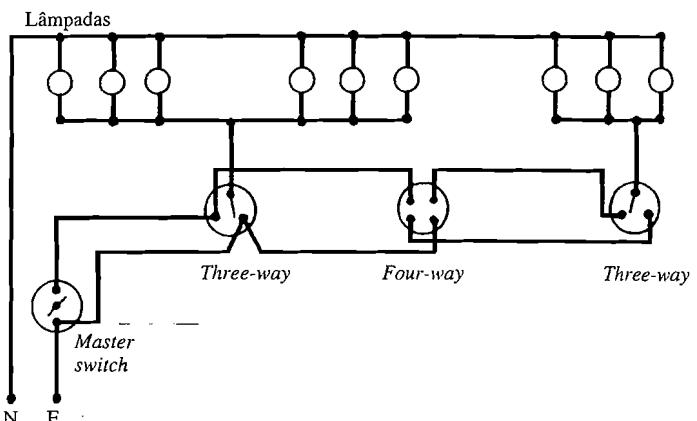
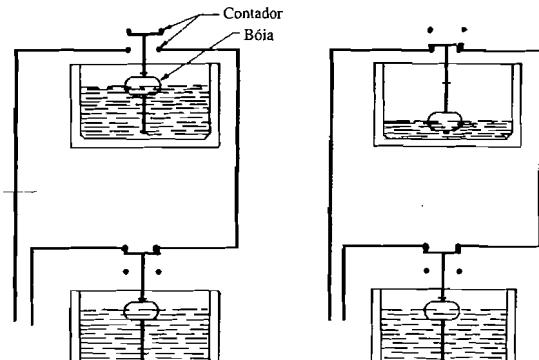
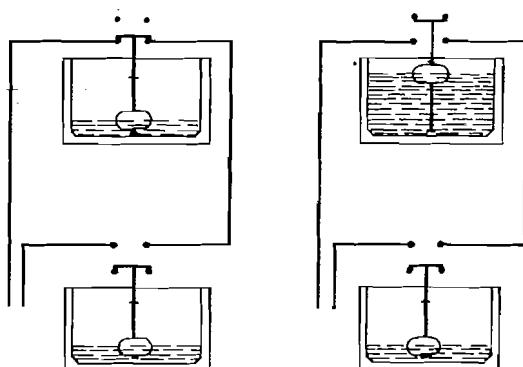


Fig. 5.24 Comando de um conjunto de pontos ativos por uma chave-mestra (*master switch*)



1.º CASO:
Ambos os reservatórios estão cheios.

2.º CASO:
O reservatório superior está vazio e o inferior, cheio.



3.º CASO:
Ambos os reservatórios estão vazios.

4.º CASO:
O reservatório superior está cheio e o inferior, vazio.

Fig. 5.25 Esquema de funcionamento dos automáticos de bóia

vel atinge sua posição mais elevada, o flutuador empurra o “esbarro” e a haste para cima, movimentando um interruptor de tipo especial, que permite a passagem da corrente pela bobina de uma chave termomagnética, ligando assim o motor da bomba. Ao atingir o nível inferior, a bôia ou o flutuador pressiona para baixo a haste, o que faz o interruptor atuar no sentido inverso da hipótese anterior. Instala-se um automático de bôia superior e um inferior, respectivamente, nos reservatórios superior e inferior. A operação mencionada refere-se ao reservatório inferior.

O regulador de nível Flygt é também muito empregado. Consta de um invólucro de polipropileno com formato de uma pêra, no interior do qual é colocado um interruptor de ampola contendo mercúrio. O invólucro é suspenso pelo próprio cabo elétrico. Quando o nível do líquido no reservatório superior atinge o nível mínimo estabelecido, o interruptor de mercúrio estabelece contato e a corrente atuará sobre a bobina do disjuntor, ligando a bomba. Ao atingir o nível máximo desejado, um outro interruptor desliga a bomba.

Quando se deseja instalar um sistema de alarme, deve-se usar um terceiro regulador. No caso do reservatório inferior, quando o nível atinge a posição mais baixa permitida, o interruptor desliga a bomba.

A Fig. 5.26 mostra a instalação do regulador de nível Flygt, muito usado em instalações de água, esgotos e industriais. Para comando de enchimento do reservatório superior, ligam-se os fios vermelho (1) e branco (3) e isola-se o fio preto (2). Para bombear água do reservatório inferior para o superior, ligam-se os fios vermelho (1) e preto (2) e isola-se o fio branco (3).

5.8 RELÉ DE PARTIDA

Existem equipamentos de baixa potência, como geladeiras, bebedouros de água gelada, que ligam e desligam com muita freqüência. Para atenuar o efeito do torque na partida, onde a corrente de partida é várias vezes maior do que a de marcha normal, usa-se,

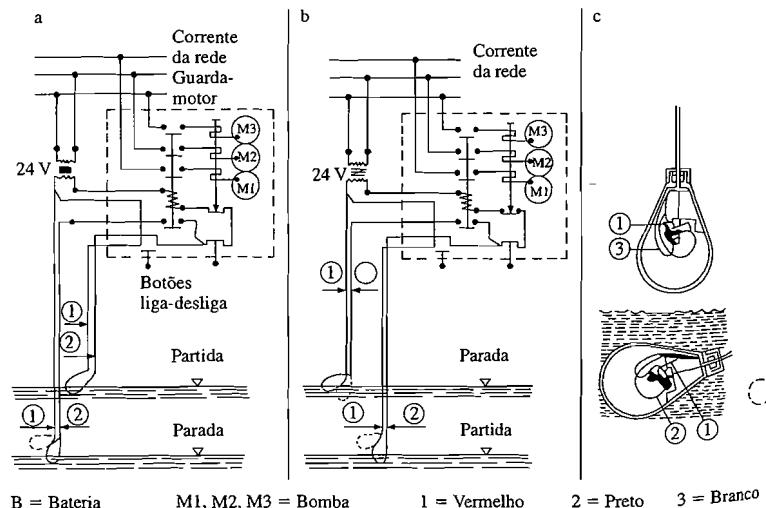


Fig. 5.26 Regulador de nível Flygt ENH-10

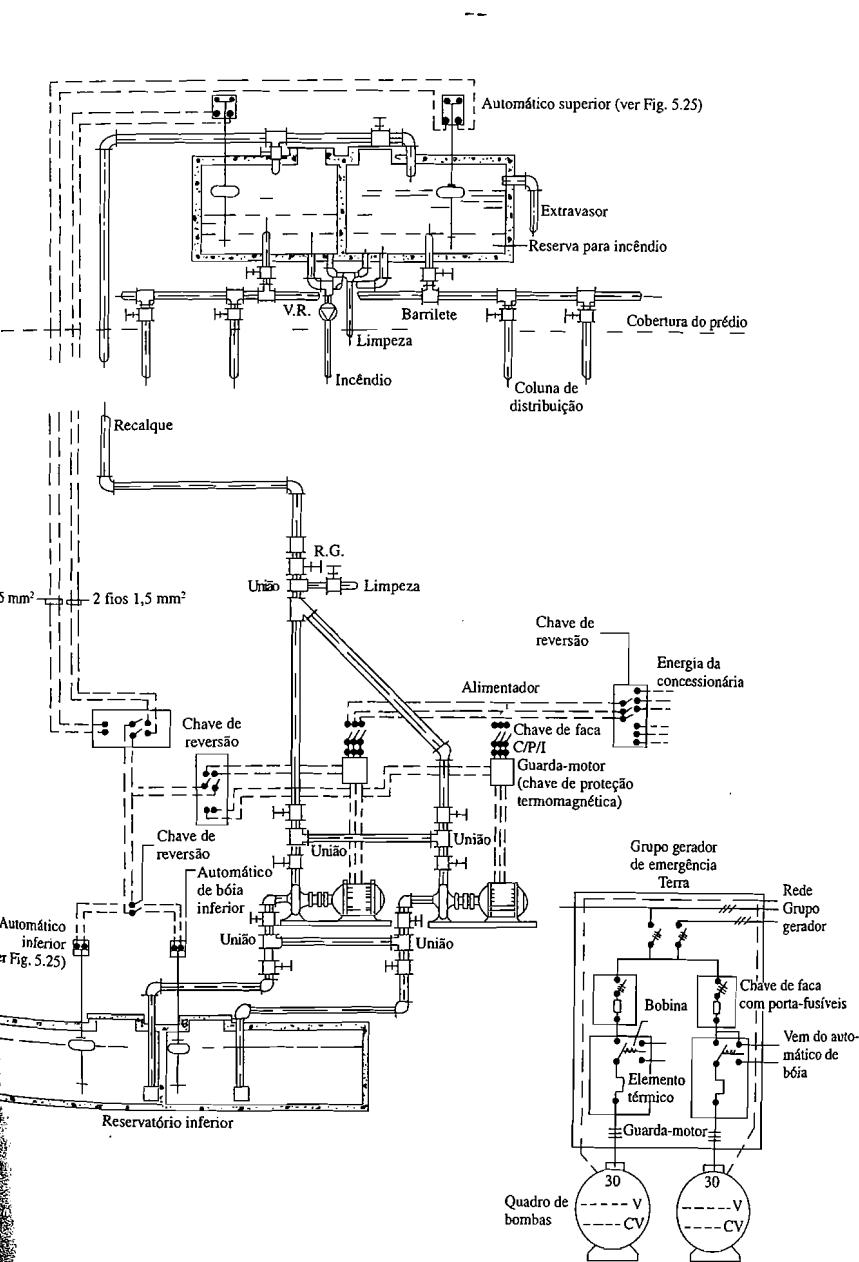


Fig. 5.27 Esquema elétrico para instalação de bombeamento predial

em equipamentos onde a freqüência de ligações é grande, o *relé de partida*, cujo funcionamento pode ser compreendido pela análise da Fig. 5.28.

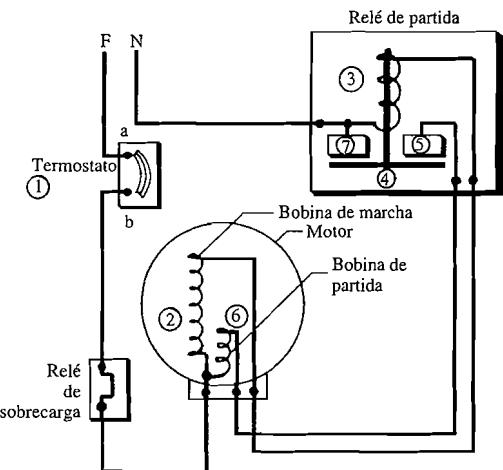


Fig. 5.28 Emprego do relé de partida para motor de pequena potência

A utilização do relé supõe a existência no motor, além do enrolamento normal, de uma bobina de partida, dotada de um número bem menor de espiras do que o da bobina de marcha.

Suponhamos que, por uma elevação de temperatura, o termostato (1) de uma geladeira, por exemplo, ligue os contactos *a* e *b*. A corrente passa pela bobina de marcha (2) e pela bobina (3) do relé, a qual atrairá a peça (4). Com isto, a corrente encontra um percurso de menor resistência passando pela bobina de partida (6) e pelas peças (5), (4) e (7). O motor poderá, então, partir com uma intensidade de corrente maior, o que lhe permite um maior torque. Logo que entre em regime normal, a bobina de partida (6) desliga, funcionando o motor apenas com a bobina de marcha (2). A ocorrência de maior intensidade da corrente na partida do motor é percebida às vezes por uma breve redução na intensidade luminosa das lâmpadas, devido à maior queda de tensão na partida do motor.

5.9 COMANDO POR CÉLULAS FOTOELÉTRICAS

É conveniente, em muitos casos, que as luminárias de iluminação pública, de patios industriais, de avisos de perigo etc. sejam operadas automaticamente, ligando quando o nível de iluminamento (intensidade luminosa) abaixar ao anotecer (8 a 10 lux) e desligando ao amanhecer (80 a 100 lux). Usam-se, para este fim, as células fotoelétricas, também denominadas fotorresistores, dispositivos que utilizam a energia luminosa como meio de acionamento para emissão de energia elétrica. Quando se trata de uma única lâmpada, é suficiente instalar uma célula próxima à luminária. Se se pretende comandar várias lâmpadas por uma única célula, deve-se introduzir um contator, cuja atuação será proporcional a cada célula.

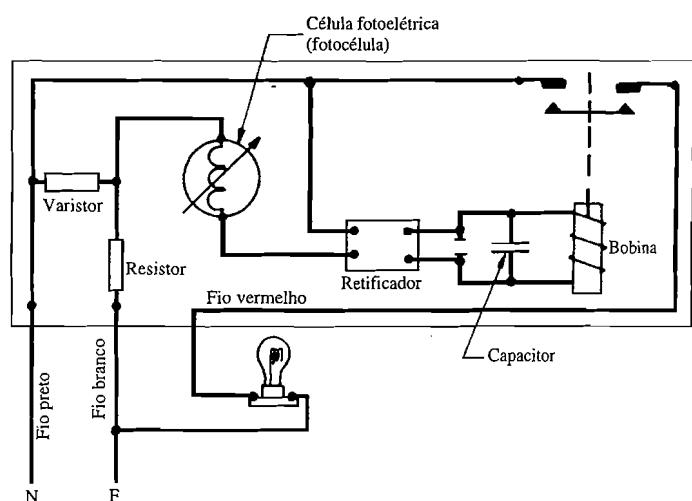


Fig. 5.29 Esquema de um fotointerruptor comandando uma lâmpada

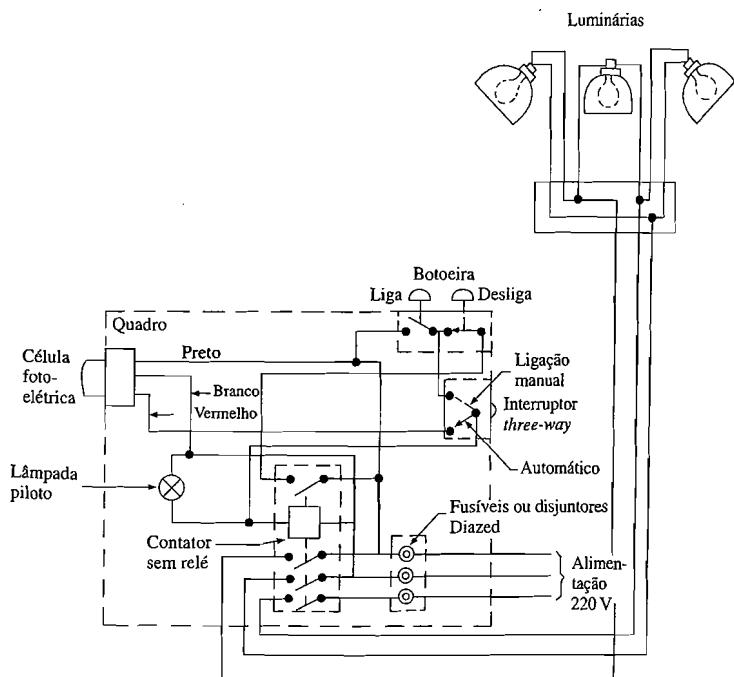


Fig. 5.30 Comando de luminárias com fotocélula, contator e three-way

A Fig. 5.29 apresenta o esquema de um fotointerruptor. A Fig. 5.30 mostra o diagrama de comando de luminárias a distância, com a instalação de contator e fusíveis de proteção.

Pode-se observar na Fig. 5.30 que existe um interruptor *three-way* que possibilita a ligação automática ou manual, quando se atua sobre a botoeira.

5.10 SELETIVIDADE

A seletividade representa a possibilidade de uma escolha adequada de fusíveis e disjuntores, de tal modo que, ao ocorrer um defeito em um ponto da instalação, o desligamento afete uma parte mínima da mesma. Para que isto aconteça, é necessário que a proteção mais próxima do defeito ocorrido venha a ser a primeira a atuar. Deve-se, então, coordenar os tempos de atuação dos disjuntores de proteção, de tal modo que os tempos de desligamento cresçam à medida que as proteções se achem mais afastadas das cargas, no sentido da fonte de surgimento de energia.

Vejamos os casos principais.

5.10.1 SELETIVIDADE ENTRE FUSÍVEIS

Suponhamos (Fig. 5.31) uma alimentação com proteção de um fusível de entrada, havendo três ramificações saindo de um barramento, protegidas também por fusíveis. Supondo correntes de serviço diferentes nos ramais, quando houver um defeito (falta), os fusíveis serão percorridos pela mesma corrente de curto-circuito.

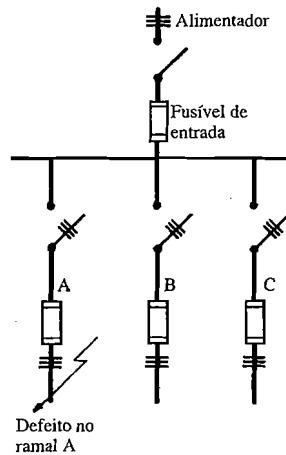


Fig. 5.31 Proteção de linha e ramais com fusíveis

Como regras teremos:

— Fusíveis em série serão seletivos quando suas curvas características de fusão (suas faixas de dispersão) não tiverem nenhum ponto de interseção e mantiverem uma distância suficiente entre si (Fig. 5.32 b).

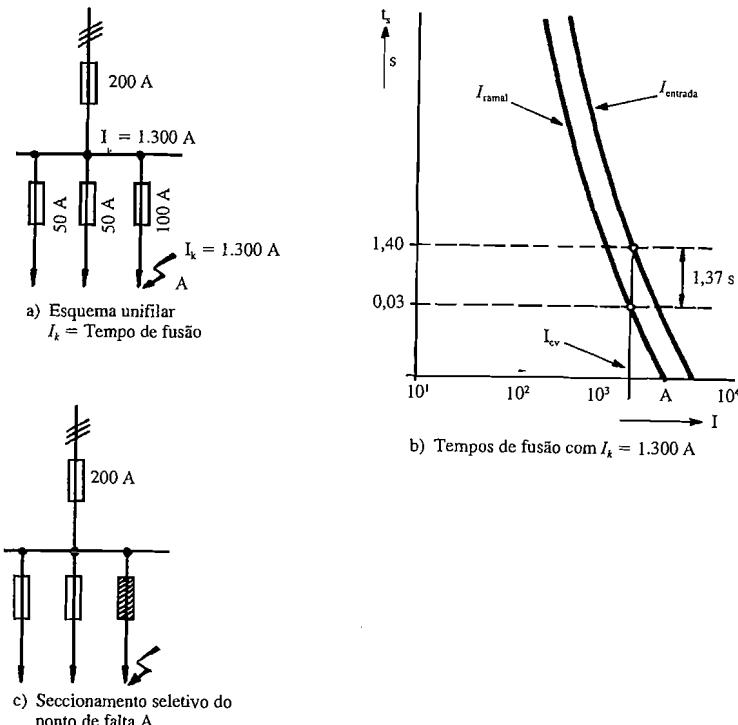


Fig. 5.32 Seletividade entre fusíveis em série

5.10.2 SELETIVIDADE ENTRE DISJUNTORES

A seletividade entre disjuntores em série só é possível quando o nível das correntes de curto varia suficientemente nos diferentes pontos da instalação. A corrente de operação do disjuntor de entrada será ajustada para um nível de corrente superior à maior corrente de curto possível de ser atingida no ponto onde o disjuntor de ramal for instalado. Há casos em que as correntes de curto variam muito pouco devido à baixa impedância dos condutores, então só haverá seletividade através de disparadores de sobrecorrente de curta temporização no disjuntor de entrada.

Suponhamos dois disjuntores: *A* protegendo a linha e *A'* protegendo um ramal (Fig. 5.33).

Na faixa correspondente à sobrecarga, a curva *A-B* do disjuntor de entrada deverá estar sempre acima da curva *A'-B'* do disjuntor do ramal (Fig. 5.34).

Para a corrente de um curto-circuito, I_{cc} , a diferença Δt , entre os tempos de atuação dos dois disjuntores, deverá ser maior do que 150 milissegundos.

$\Delta t \geq 150$ ms para disparadores eletromagnéticos.
 $\Delta t \geq 70$ ms para disparadores de curta temporização.

A corrente de operação dos disjuntores com disparador de curta temporização deve ser ajustada para um valor superior ou igual a 25% do valor ajustado para o disjuntor de ramal.

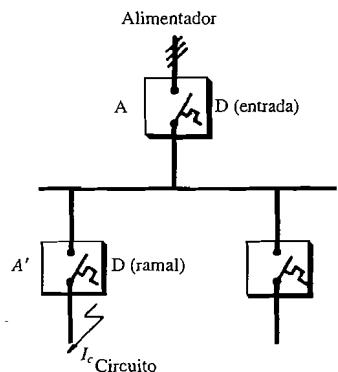


Fig. 5.33 Proteção de linha e ramais com disjuntores

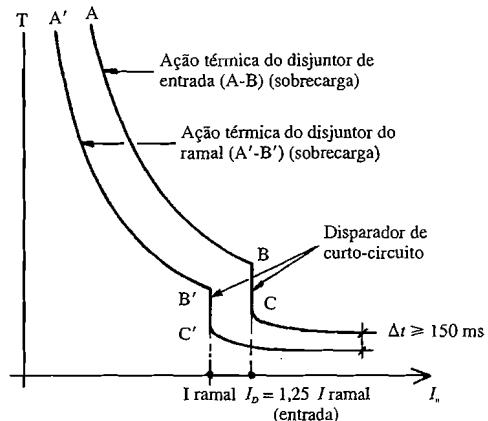


Fig. 5.34 Proteção com disjuntores em ramais e alimentadores

$$I_{D(\text{entrada})} \geq 1,25 \times I_{\text{ramal}}$$

5.10.3 SELETIVIDADE ENTRE DISJUNTOR E FUSÍVEIS EM SÉRIE

Vê-se pela Fig. 5.36 que só existirá seletividade na faixa de sobrecarga se a curva característica dos fusíveis não tiver nenhum ponto de interseção com a curva característica dos disparadores de sobrecorrente térmicos dos disjuntores.

Na prática, o tempo entre os disparadores de sobrecorrente e a curva dos fusíveis é da ordem de 100 ms.

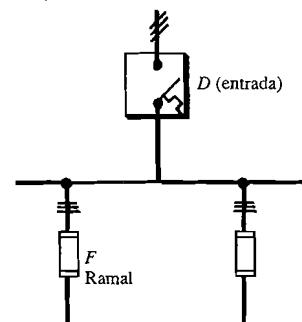


Fig. 5.35 Proteção com disjuntor e fusíveis nos ramais

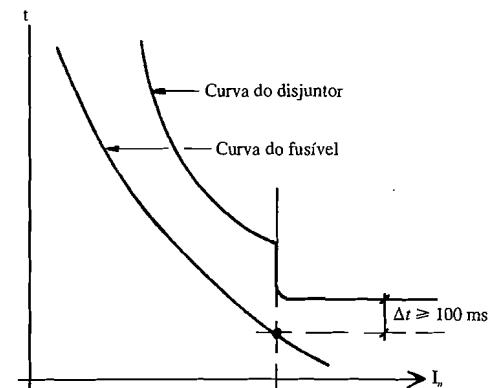


Fig. 5.36 Seletividade entre disjuntor e fusível

5.11 VARIADOR DA TENSÃO ELÉTRICA

O controle da intensidade luminosa de uma ou mais lâmpadas de um circuito é, em geral, realizada utilizando-se a seguinte solução:

5.11.1 EMPREGO DE UM DIMMER OU ATENUADOR

O *dimmer* é um variador de tensão que utiliza recursos eletrônicos. Eles dispensam a passagem da corrente através de resistências para dissipação da energia elétrica em calor. Fazem a luminosidade das lâmpadas ou a velocidade dos motores variar de zero a um máximo. Contêm uma resistência fixa, além de uma resistência variável (potenciômetro), dois capacitores, um tiristor e um diodo. O operador gira um botão ou desloca um pino, para variar a resistência do potenciômetro. A atuação do diodo (diac) sobre o tiristor (triac) fará variar a tensão aplicada e os capacitores exercerão uma função reguladora do sistema eletrônico, completando-o.

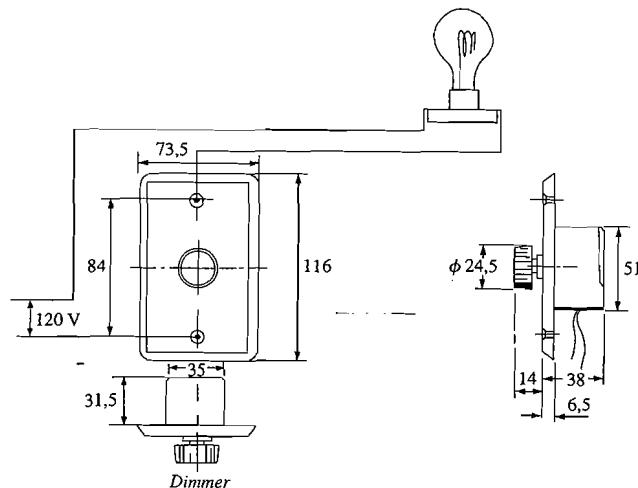


Fig. 5.37 Dimmer (atenuador)

5.11.2 VARIADOR DE POTÊNCIA

O título refere-se a dois aparelhos eletrônicos capazes de regular a luminosidade de um número maior de lâmpadas, cuja potência total estava limitada a 600 W. Essa é a razão de ser chamado de "alta potência" o novo variador de tensão. O modelo 400/76, em 110 V, atinge 1.000 W e o modelo 400/77, em 220 V, regula até 2.000 W. Podem ser usados em áreas comerciais, além das residenciais, em salões, teatros e outras utilizações desejáveis.



Fig. 5.38 Variador de potência (Pial Legrand)

6 Instalações para Motores

6.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS

Conforme a natureza da corrente que os alimenta, os motores elétricos dividem-se em:

- Motores de corrente contínua (CC);
 - Motores de corrente alternada (AC) ou (CA).
- Consideremos cada uma dessas modalidades.

6.1.1 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Funcionam pela ação de um campo magnético, produzido pela excitação dos pólos do motor com a corrente contínua. São usados quando se pretende variar a velocidade durante o funcionamento ou quando o conjugado resistente de partida (torque) da máquina acionada é elevado.

A variação de velocidade desses motores é conseguida de diversos modos, sendo os mais comuns a variação da tensão aplicada ao induzido e a variação do fluxo no entreferro pela redução da corrente de campo.

A modificação no valor de tensão é feita variando-se as resistências dispostas em série, com o emprego de um reostato, isto é, resistor ou conjunto unitário de resistores interligados cuja resistência de saída pode ser variada de maneira contínua ou por degraus.

Os motores de corrente contínua, conforme sua modalidade construtiva, são classificados em *motores shunt*, *motores série* e *motores compound*.

Motores shunt. São empregados quando as características de partida (torque, tempo de aceleração) não são muito severas. O conjugado é proporcional à corrente absorvida, e a velocidade de operação deverá manter-se aproximadamente constante. São usados no acionamento de turbobombas, ventiladores, esteiras transportadoras etc.

Motores série. Neles a velocidade varia com a carga, e o conjugado de partida é muito grande. Por isto são muito empregados em tração elétrica, em guindastes, pontes rolantes, compressores etc. Não podem demarrar em vazio, isto é, sem carga resistente.

Motores compound. Reúnem as características dos dois tipos anteriores, portanto, corrente de partida elevada e velocidade de operação aproximadamente constante. Usados em calandras, bombas alternativas etc.

Como a corrente fornecida pela rede de energia elétrica é alternada, os motores CC necessitam de equipamentos para a retificação da corrente, os quais podem ser estáticos ou rotatórios.

6.1.2 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

São dois os tipos mais empregados:

- Motores síncronos.
- Motores assíncronos ou de indução.

Antes de procedermos a uma caracterização destes motores, façamos uma consideração sobre a rotação dos mesmos.

Em eletrotécnica, demonstra-se que o número de rotações dos motores de corrente alterna e a formação do campo girante dependem:

Da freqüência f do sistema que fornece a energia elétrica. No Brasil, a legislação pertinente estabeleceu a freqüência em 60 hertz.

Do número de pólos do motor. A rotação síncrona de um motor em rpm é o número de rotações com que, para dados valores do número de pólos e da freqüência, ele é suscetível de girar. Chamando de p o número de pólos do motor, teremos:

$$n = \frac{120f}{p}$$
6.1

Assim, teremos, quando f for igual a 60 Hz.

Tabela 6.1 Rotação síncrona em função do número de pólos, para a freqüência de 60 Hz

Número de pólos	Rotação síncrona
2	3.600
4	1.800
6	1.200
8	900
10	720
12	600
14	514
16	450
18	400
20	360
24	300

Nos motores síncronos, a rotação do eixo é igual à rotação síncrona, daí seu nome. Dentro dos limites aceitáveis de trabalho do motor, a velocidade praticamente não varia com a carga.

São usados em compressores de grande potência, turbobombas; grupos motor-gedor, ventiladores de grande capacidade.

Nos motores assíncronos, ocorre um deslizamento ou defasagem em relação à rotação síncrona, pois eles funcionam a uma velocidade menor que a síncrona, de modo que as rotações dos motores referidos na Tabela 6.1 passam a ser, respectivamente, 3.500 rpm, 1.750, 1.150, 700 etc. O deslizamento ou escorregamento, designado pela letra S , é expresso por:

$$S = \frac{n_{\text{síncrona}} - n_{\text{do motor}}}{n_{\text{síncrona}}}$$
6.2

Motores Síncronos

Nestes motores, o estator é alimentado com corrente alternada, enquanto o rotor o com corrente contínua proveniente de uma *excitatriz*, que é um pequeno dínamo (*C*) normalmente montado no próprio eixo do motor. Não possuem condições de partida própria, de modo que, para demarrarem e alcançarem a velocidade síncrona, necessitam de

um agente auxiliar, que geralmente é um motor de indução, tipo gaiola. Após atingirem a rotação síncrona, conforme mencionamos, eles mantêm a velocidade constante para qualquer carga, naturalmente, dentro dos limites de sua capacidade. Assim, caso se quisesse variar a velocidade, ter-se-ia que mudar a freqüência da corrente.

Antes de se submeter o motor síncrono à carga, ele deve ser levado à velocidade de sincronismo. Todos os métodos de partida exigem que, durante a aceleração, se proceda à remoção total ou, pelo menos, parcial de carga.

Usam-se os seguintes métodos de partida:

- Partida própria, pela ação de um motor de indução auxiliar.
- Emprego de motor de "lançamento" auxiliar.
- Partida com tensão reduzida por meio de autotransformador de partida, reator ou resistência em série.

Os motores síncronos, quando superexcitados, fazem com que a corrente avance em relação à tensão, agindo assim de forma análoga ao capacitor, melhorando o fator de potência de uma instalação. Essa grandeza, cuja significação já vimos, será relembrada neste capítulo.

Quando submetidos a uma carga excessiva, os motores síncronos perdem o sincronismo e param. São usados em máquinas de grande potência e baixa rotação.

Motores Assíncronos

Dentre estes, os mais robustos, mais importantes e mais comumente usados são os de *indução trifásica*. A corrente que circula no *rotor* é induzida pelo movimento relativo entre os condutores de rotor e o "campo girante", produzido pela variação da corrente no indutor fixo. São duas as partes essenciais do motor de indução: o estator e o rotor, ou induzido.

O estator

Consta de um enrolamento alojado em ranhuras existentes na periferia de um núcleo de ferro laminado (carcaça). A passagem de corrente trifásica vinda da rede gera um campo magnético que gira com a velocidade síncrona — é o "campo girante".

O rotor ou induzido

Pode ser de dois tipos:

Rotor bobinado (em anéis). É composto de um núcleo ou tambor de ferro laminado, com ranhuras onde se alojam enrolamentos semelhantes aos do estator, proporcionando o mesmo número de pólos. Os enrolamentos do rotor são ligados em "estrela", e as três extremidades do enrolamento são unidas a três anéis presos no eixo, de modo a permitir a introdução de resistências em série com as três fases do enrolamento na partida e a colocar em curto-círcuito os referidos terminais nas condições do regime normal de funcionamento. Necessitam de um reostato que ligue em estrela na partida — três séries de resistências que, depois de atingida a velocidade máxima, sejam desligadas. Apresentam conjugados de partida elevados, com corrente de partida reduzida. A velocidade pode ser reduzida até 50% do valor da velocidade normal, variando-se a resistência do rotor.

Aplicações: Ventiladores, bombas centrífugas, bombas de êmbolo, compressores, guindastes, esteiras transportadoras etc.

Rotor em curto-círcuito ou gaiola de esquilo (squirrel-cage). Trata-se de um núcleo, com forma de tambor, dotado de ranhuras onde se alojam fios ou barras de cobre que são postas em curto-círcuito em suas extremidades por anéis de bronze.

A corrente no estator gera um campo girante no interior do qual se acha o rotor. Os condutores (fios ou barras) do rotor são cortados pelo fluxo do campo girante e neles são induzidas forças eletromotrices, as quais dão origem a correntes elétricas. Estas correntes, por sua vez, reagem sobre o campo girante, produzindo um conjugado motor que faz o rotor girar no mesmo sentido que o campo. Para compreender este efeito, é necessário

lembra a chamada *lei de Lenz*,* que nos diz que "as correntes induzidas tendem a opor-se à causa que as originou". Ora, a causa é o movimento do rotor em relação ao campo girante, de modo que o rotor gira contrariando esse movimento e, portanto, no mesmo sentido que o campo. É importante ressaltar que a velocidade do rotor nunca pode tornar-se igual à velocidade do campo, isto é, a velocidade síncrona, pois, se esta fosse atingida, os condutores do induzido não seriam cortados pelas linhas de força do campo girante, não se produzindo então as correntes induzidas nem o conjugado motor.

É esta a razão de se chamarem *motores assíncronos*. Quando funciona sem carga, o rotor gira com velocidade quase igual à síncrona, pois o "deslizamento" é então pequeno; porém, com carga, o rotor se atrasa mais em relação ao campo girante, e são induzidas fortes correntes para produzir o conjugado necessário. A velocidade a plena carga pode ser de 5 a 10% menor que o valor da velocidade com o motor sem carga.

Os motores em gaiola absorvem da linha, na partida, uma corrente que pode chegar a cinco ou mesmo sete vezes a corrente de plena carga, mas desenvolvem um conjugado motor cerca de uma vez e meia o de plena carga, o que é muito conveniente para a demarragem das máquinas por eles acionadas.

A National Electrical Manufacturing Association, NEMA, classifica os motores de rotor em curto-círcito em classes, de A a F. Mencionaremos os principais.

CLASSE A. Conjugado e corrente de partida normais. São usados em aplicações gerais e apresentam bom rendimento e bom fator de potência. Con quanto sejam construídos para partida com tensão plena, acima de 5 cv, são em geral ligados por equipamentos de partida com tensão reduzida.

Funcionam com velocidade essencialmente constante.

Aplicações: Bombas centrífugas, ventiladores, ventoinhas, compressores rotativos.

CLASSE B. São construídos com o rotor limitando a corrente de partida a cerca de cinco vezes a corrente a plena carga. Podem, portanto, ser usados para partida com tensão total em certas aplicações onde os motores da classe A obrigariam a recorrer à partida com tensão reduzida. Embora o rendimento e o conjugado de partida sejam aproximadamente iguais aos dos motores classe A, o fator de potência e o conjugado máximo de regime são um pouco menores.

CLASSE C. Usados quando se pretende velocidade de regime constante, conjugado de partida razoavelmente elevado, funcionamento com partidas a intervalos de tempo longos e corrente de partida cerca de quatro vezes a corrente normal.

Aplicações: Bombas e compressores rotativos (partida com carga), vibradores, pulverizadores, agitadores, esteiras transportadoras, elevadores etc.

CLASSE D. Convenientes quando se deseja conjugado de partida elevado, com partidas não muito frequentes e para acionar cargas de picos elevados com ou sem volante. São de baixo rendimento.

Aplicações: Prensa de impacto, estamparias, tesourões, viradeiras de chapas, guinchos, guindastes, elevadores etc.

6.2 VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DO MOTOR

Consegue-se variar a velocidade de rotação quando se trata de um *motor de rotor bobinado*.

Pode-se lançar mão de várias soluções para variar a velocidade do motor. As mais comuns são:

- Variação da intensidade da corrente do rotor, de modo a se obter variação no escorregamento. A energia correspondente ao escorregamento é recuperada e de-

volvida à rede após retornarem as características de ondulação na freqüência da rede, o que é conseguido com o emprego de uma ponte de *tiristores*, isto é, dispositivos semicondutores biestáveis com três ou mais junções, que podem ser comutados do estado de condução para o estado de bloqueio, ou vice-versa.

- Variação da freqüência da corrente.
- Introdução de resistências externas ao rotor (reostato divisor de tensão) para motores de pequena potência.

6.3 ESCOLHA DO MOTOR

Para a escolha do motor pode-se observar o que indicam as Tabelas 6.2 e 6.3.

Tabela 6.2 Escolha do motor levando em conta a velocidade

	Corrente alternada	Corrente contínua
Velocidade aproximadamente constante, desde a carga zero até a plena carga	Motor de indução ou síncrono	Motor <i>shunt</i>
Velocidade semiconstante, da carga zero até a plena carga	Motor de indução com elevada resistência do rotor	Motor <i>compound</i>
Velocidade variável, decrescente com o aumento de carga	Motor de indução com a resistência do rotor ajustável	Motor <i>série</i>

Tabela 6.3 Características e aplicações de vários tipos de motor

Tipo de motor	Velocidade	Conjugado de partida	Emprego
Indução de gaiola, trifásico	Aproximadamente constante	Conjugado baixo. Corrente elevada	Bombas, ventiladores, máquinas ferramentas
Indução de gaiola, com elevado deslizamento	A velocidade decresce rapidamente com a carga	Conjugado maior do que o do caso anterior	Pequenos guinchos, pontes rolantes, serras etc.
Rotor bobinado	Com a resistência de partida desligada, semelhante ao primeiro caso. Com a resistência inserida, a velocidade pode ser ajustada a qualquer valor, embora com sacrifício do rendimento	Conjugado maior do que os dos casos anteriores	Compressores de ar, guinchos, pontes rolantes, elevadores etc.

*LENZ, Heinrich Friedrich Emil — físico russo (1804-1865).

6.4 POTÊNCIA DE MOTOR ELÉTRICO

Podemos considerar para um motor as seguintes potências:

Potência nominal ou potência de saída (P_n). É a potência mecânica no eixo do motor. Num laboratório de ensaios, seria medida com o auxílio de um freio dinamométrico. É expressa em cv ou kW e eventualmente em HP.

Potência de entrada (P_e). Corresponde à potência absorvida pelo motor para o seu desempenho.

A relação entre a potência nominal e a potência de saída é o rendimento mecânico η do motor.

$$\eta = \frac{P_n}{P_e} \quad 6.3$$

A potência de entrada, expressa em kW, pode ser calculada em função da potência nominal pelas fórmulas:

$$P_e = \frac{P_n (\text{kW})}{\eta} (\text{kW}) \quad 6.4$$

$$P_e = \frac{P_n (\text{cv}) \times 0,736}{\eta} (\text{kW}) \quad 6.5$$

$$P_e = \frac{P_n (\text{HP}) \times 0,746}{\eta} (\text{kW}) \quad 6.6$$

Estas expressões serão corrigidas pela introdução da grandeza denominada *fator de potência*, de que tratamos a seguir.

6.5 FATOR DE POTÊNCIA

Quando num circuito existem intercaladas uma ou mais bobinas, como é o caso de um circuito com motores, observa-se que a potência total fornecida, que é determinada pelo produto da corrente lida num amperímetro pela diferença de potencial lida em um voltímetro, não é igual à potência lida num wattímetro.

No caso de haver motores, reatores, transformadores ou lâmpadas de descarga, a leitura do wattímetro indicaria valor inferior ao produto *volt × ampères*. Se no circuito houvesse apenas resistores, os dois resultados coincidiriam, pois, neste caso, *volt × ampères = watts*.

Fazendo-se a representação das variações de corrente e da tensão em função do tempo, verifica-se que, quando existe auto-indução pela passagem da corrente através de um enrolamento, a tensão atinge o valor positivo máximo antes que a corrente alcance o seu valor positivo máximo. Representando por vetores as grandezas I e U , o atraso da corrente I em relação à tensão U é o ângulo φ de defasagem.

De modo análogo, representando vetorialmente as potências, veremos que a chamada *potência total ou aparente* (volt \times ampères, ou kVA = 1.000 VA) resulta da composição da *potência ativa ou efetiva* (watts) com a *potência reativa* (VAr = volts \times ampères reativos), e que a potência ativa e a aparente estão defasadas entre si do ângulo φ .

Chama-se *fator de potência* o cosseno desse ângulo φ . Isto é, o valor dado por:

$$\cos \varphi = \frac{\text{pot. ativa}}{\text{pot. aparente}} \quad \text{ou} \quad \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \quad 6.7$$

O nome *fator de potência* decorre de que, multiplicando-se a potência aparente pelo $\cos \varphi$, obtém-se a potência ativa, isto é:

$$\text{kW} = \cos \varphi \times \text{kVA} \quad 6.8$$

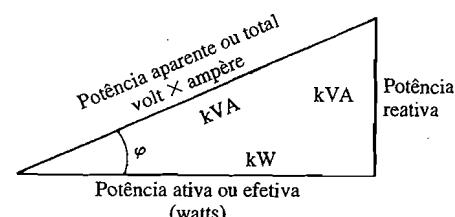


Fig. 6.1 Esquema vetorial mostrando a composição para obter-se a potência ativa

Quando há, apenas, resistências num circuito, dizemos que a corrente está “em fase” com a tensão (Fig. 6.2). Então $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$ e a potência monofásica é dada por:

$$W = U I \quad (\text{watts} = \text{volt} \times \text{ampères}) \quad 6.9$$

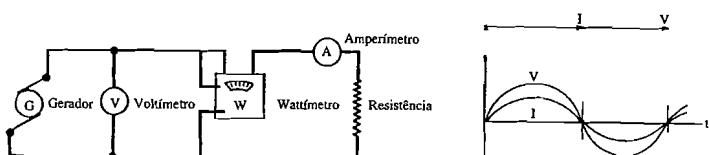


Fig. 6.2 Circuito apenas resistivo, em que a corrente está “em fase” com a tensão

Como foi mencionado acima, no caso de haver indutâncias (bobinas, motores ou dispositivos que sofram os efeitos da indução eletromagnética da corrente), a cor-

rente fica defasada e em "atraso" em relação à tensão (Fig. 6.3). Neste caso, como vimos,

$$P_{\text{ativa}} = \cos \varphi \times P_{\text{total}}$$

$$I_{\text{ativa}} = \cos \varphi \times I_{\text{total}}$$

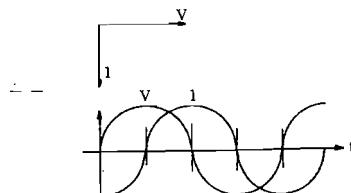
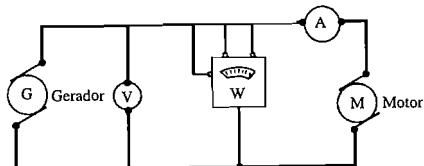


Fig. 6.3 Circuito com indutância, em que a corrente está "em atraso" com a tensão

Quanto maior o valor do fator de potência, tanto maior será o valor de I_{ativa} .

Os condutores e equipamentos elétricos são dimensionados com base no I_{total} , de modo que, para uma mesma potência útil (kW), deve-se procurar ter o menor valor possível da potência total (kVA), e isto ocorre evidentemente quando $I_{\text{ativa}} = I_{\text{total}}$, o que corresponde a $\cos \varphi = 1$.

Quanto mais baixo for o fator de potência, maiores deverão ser, portanto, as seções dos condutores e as capacidades dos transformadores e dos disjuntores. Um gerador, suponhamos de 1.000 kVA, pode fornecer 1.000 kW a um circuito apenas com resistências, pois neste caso $\cos \varphi = 1$. Se houver motores e o circuito tiver fator de potência 0,85, isto é, $\cos \varphi = 0,85$, o gerador fornecerá apenas 850 kW de potência útil ao circuito.

Quando um motor de indução opera a plena carga, pode-se ter $\cos \varphi \approx 0,90$. Se operar com cerca da metade da carga, $\cos \varphi \approx 0,80$, e se trabalhar sem carga, $\cos \varphi \approx 0,20$. Daí se conclui ser necessária uma criteriosa escolha da potência do motor para que opere em condição favorável de consumo de energia.

Como pudemos ver, o problema de se ter um baixo fator de potência é, consequentemente, um alto valor de potência reativa que se torna necessário que a fonte geradora forneça mais potência aparente (kVA) do que seria necessário com um alto valor do fator de potência. Por isso, as concessionárias não permitem instalações industriais com fator de potência inferior a 0,92 (Portaria n.º 1.569-93 do DNAE).

-- cobrando multas daquelas indústrias cujas instalações tenham fator de potência abaixo de 0,92.

Veremos, em capítulo próprio, os recursos que se podem empregar para melhorar o fator de potência.

6.6 CORRENTE NO MOTOR TRIFÁSICO

6.10

6.11

A corrente que produz potência média positiva ou motriz é, como vimos, a *ativa* ou *efetiva*. A potência reativa produz potência média nula, daí não ser utilizável. Num período, o gerador fornece esta potência e a recebe de volta, não havendo saldo de potência utilizável. A potência ativa no circuito trifásico é dada pela expressão:

$$P_{(\text{watts})} = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta \quad 6.12$$

onde η = rendimento do motor e U = a tensão entre fases.

Da Eq. 6.12 obtém-se a corrente nominal, isto é, a corrente de plena carga consumida pelo motor quando fornece a potência nominal à uma carga.

$$I_{(\text{ampères})} = \frac{P_{(\text{cv})} \times 736}{U_{(\text{volts})} \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta} \quad 6.13$$

Para um motor monofásico, teremos:

$$I_{(\text{ampères})} = \frac{P_{(\text{cv})} \times 736}{U_{(\text{volts})} \times \cos \varphi \times \eta} \quad 6.14$$

Exemplo 6.1

Qual a corrente nominal solicitada pelo motor trifásico de uma bomba de 5 cv sob uma tensão de 220 V, sendo $\cos \varphi = 0,80$ e o rendimento do motor igual a 96% ($\eta = 0,96$)?

A corrente nominal é dada por:

$$I = \frac{P \times 736}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta} \quad (1 \text{ cv} = 736 \text{ watts})$$

$$I = \frac{5 \times 736}{220 \times \sqrt{3} \times 0,80 \times 0,96} = \underline{\underline{12,6 \text{ A}}}$$

6.7 RESUMO DAS FÓRMULAS PARA DETERMINAÇÃO DE I (AMPÉRES), P (CV, KW E KVA) E GRAUS DE PROTEÇÃO

Tabela 6.4 Fórmulas para determinação de $I_{(ampères)}$, $P_{(cv)}$, kW e kVA

Para obter	Corrente contínua	Corrente alternada	
		Monofásica	Trifásica
$I_{(ampères)}$, quando $P_{(cv)}$ for conhecido	$\frac{P \times 736}{U \times \eta}$	$\frac{P \times 736}{U \times \eta \times \cos \varphi}$	$\frac{P \times 736}{U \times \sqrt{3} \times \eta \times \cos \varphi}$
$I_{(ampères)}$, quando se conhece a potência expressa em kW	$\frac{kW \times 1.000}{U(\text{volts})}$	$\frac{kW \times 1.000}{U \times \cos \varphi \times \eta}$	$\frac{kW \times 1.000}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta}$
$I_{(ampères)}$, quando se conhece a potência em kVA	—	$\frac{kVA \times 1.000}{U}$	$\frac{kVA \times 1.000}{U \times \sqrt{3}}$
kW (quilowatts)	$\frac{I \times U}{1.000}$	$\frac{I \times U \times \cos \varphi \times \eta}{1.000}$	$\frac{I \times U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta}{1.000}$
kVA (input) demandada à rede	—	$\frac{I \times U}{1.000}$	$\frac{I \times U \times \sqrt{3}}{1.000}$
Potência em cv (output)	$\frac{I \times U \times \eta}{736}$	$\frac{I \times U \times \eta \times \cos \varphi}{736}$	$\frac{I \times U \times \sqrt{3} \times \eta \times \cos \varphi}{736}$
Potência em HP (output)	$\frac{I \times U \times \eta}{746}$	$\frac{I \times U \times \eta \times \cos \varphi}{746}$	$\frac{I \times U \times \sqrt{3} \times \eta \times \cos \varphi}{746}$

Tabela 6.5 Graus de proteção contra a penetração de corpos sólidos, líquidos e proteção mecânica

1.º ALGARISMO: PROTEÇÃO CONTRA A PENETRAÇÃO DE CORPOS SÓLIDOS		2.º ALGARISMO: PROTEÇÃO CONTRA A PENETRAÇÃO DE LÍQUIDOS		3.º ALGARISMO: PROTEÇÃO MECÂNICA	
IP	Testes	IP	Testes	IP	Testes
0	Sem proteção	0	Sem proteção	0	Sem proteção
1		1		1	
2		2		3	
3		3		5	
4		4		7	
5		5		9	
6		6		7	
				8	Imersão prolongada sob pressão

6.8 CONJUGADO DO MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico, pelas suas características, sendo capaz de realizar uma potência de P (cv), exerce sobre seu eixo um conjugado M , também denominado *momento motor ou torque* ($\text{kgf} \times \text{m}$), de modo que, se n for o número de rotações por minuto, teremos:

$$P_{(cv)} = \frac{M}{75} \times \frac{\pi n}{30}$$

ou

$$P_{(cv)} = \frac{M \times n}{716}$$

O motor deve ter um conjugado motor M maior do que o conjugado resistente oferecido pela "árvore" da máquina, de modo a acelerá-la e colocá-la em regime, após um intervalo de tempo compatível com a operação que a máquina irá desempenhar.

Os motores elétricos de indução têm uma curva $M = f(n)$ de variação do conjugado em função da velocidade síncrona, tal como indicado na Fig. 6.4.

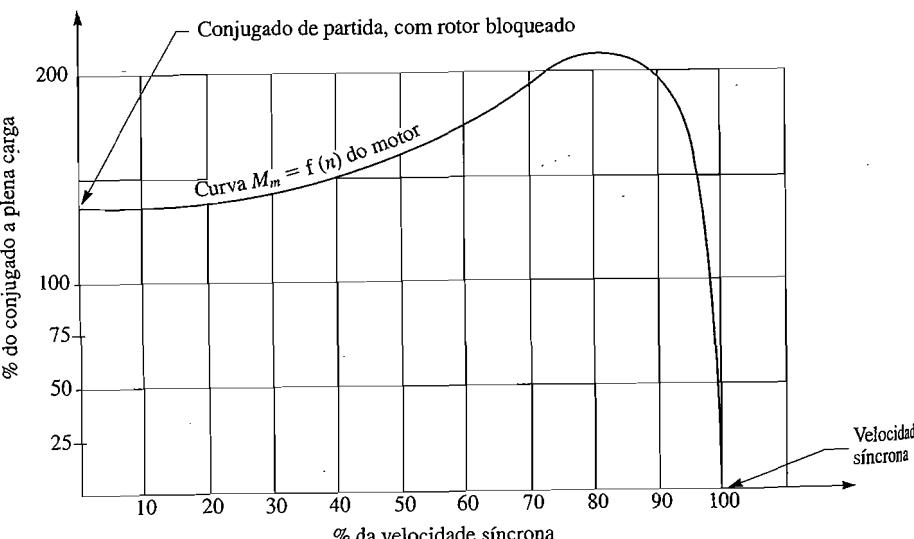


Fig. 6.4 Variação do conjugado em função da velocidade síncrona

A Tabela 6.6 indica, segundo a ABNT, os valores do conjugado máximo de partida em % do conjugado de "plena carga", para motores.

Tabela 6.6 Valores do conjugado máximo de partida em % do conjugado de plena carga

Potência em regime contínuo	Velocidade síncrona (rpm)			
	3.600	1.800	1.200	900
1 HP (0,75 kW)	333	270	234	200
2 HP (1,49 kW)	250	275	225	225
3 HP (2,29 kW)	250	248	225	225
5 HP (3,72 kW)	202	225	225	215
7 1/2 HP (5,59 kW)	215	215	215	190
10 HP (7,45 kW)	200	200	200	190
15 HP (11,18 kW)	200	200	200	190
20 HP (14,91 kW)				190
a	200	200	200	190
25 HP (18,64 kW)				190
30 HP (22,37 kW) ou mais	200	200	200	190

6.9 CORRENTE DE PARTIDA NO MOTOR TRIFÁSICO

Quando se liga um motor de indução, isto é, "dá-se partida", a corrente absorvida é 3, 4, 5 e até maior número de vezes superior à corrente nominal a plena carga. Este número depende do tipo e das características construtivas do motor. Designa-se a situação em que o motor é ligado, mas impedido de girar por meio de um freio dinamométrico, de "rotor bloqueado", e o ensaio em que é estabelecido o valor da corrente na condição mencionada denomina-se *locked rotor test*.

À medida que a carga mecânica no freio vai sendo aliviada, a corrente vai decrescendo e a velocidade aumentando, até que atinja a velocidade de regime, o que se dará quando o motor estiver fornecendo a potência nominal para a qual foi previsto funcionar, em condições normais.

No motor de indução trifásico, a corrente varia conforme a Fig. 6.5 indica.

Vê-se que, ao dar partida, o motor consome mais de 600% da corrente a plena carga. Quanto maior a inércia das partes a receberem a ação ou os efeitos do conjugado motor, maior será o tempo necessário para que a corrente atinja o valor nominal a plena carga. Nos livros de eletrotécnica é estudado o comportamento dos motores assíncronos trifásicos com rotor, que permitem um razoável controle de variação da velocidade com a utilização conveniente de resistências.

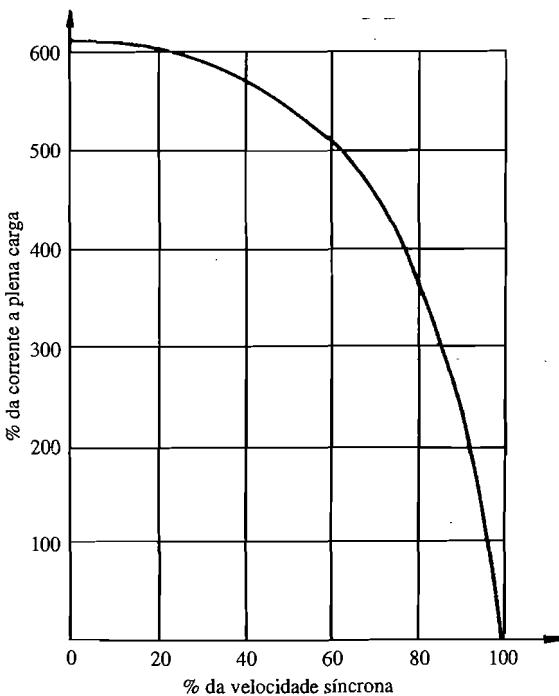


Fig. 6.5 Variação da corrente em função da velocidade síncrona (valores percentuais)

A NBR 5.410/97 recomenda que para partida de motores com potência acima de 5 cv, em instalações alimentadas por rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a concessionária local.

6.10 LETRA-CÓDIGO

Para o dimensionamento dos dispositivos de proteção do motor, deve-se calcular a corrente de partida, que, como acabamos de ver, é consideravelmente maior do que a corrente nominal.

Os motores, quando são classificados segundo as normas norte-americanas, possuem em sua placa de identificação uma *letra-código* do motor.

A letra-código é convencionada conforme valores da relação entre a potência aparente kVA demandada à rede (*input*) e a potência em cv, com rotor bloqueado (*locked rotor*).

Isto é, de acordo com o valor $\frac{\text{kVA}}{\text{cv}}$. Naturalmente, o motor não opera nestas condições, porém, no instante da partida, ele não está girando, de modo que esta condição pode ser considerada válida até que o rotor comece a girar.

A Tabela 6.7 indica a letra-código segundo a conceituação que acaba de ser apresentada.

Tabela 6.7 Letra-código nas placas de identificação dos motores

Letra-código	$\frac{\text{kVA}}{\text{cv}}$	
	com rotor bloqueado	
A	0	— 3,14
B	3,15	— 3,54
C	3,55	— 3,99
D	4,00	— 4,49
E	4,50	— 4,99
F	5,00	— 5,59
G	5,60	— 6,29
H	6,30	— 7,09
J	7,10	— 7,99
K	8,00	— 8,99
L	9,00	— 9,99
M	10,00	— 11,19
N	11,20	— 12,49
P	12,50	— 13,99
R	14,00	— 15,99
S	16,00	— 17,99
T	18,00	— 19,99
U	20,00	— 22,39
V	22,40	— e acima

■ Exemplo 6.2

Uma máquina operatriz de 20 cv será acionada por um motor de indução de 220 V, 60 Hz, $\cos \varphi = 0,80$ e $\eta = 0,96$, letra-código F. Qual será a corrente de partida?

a) Calculemos a corrente nominal:

$$I_n = \frac{P \times 736}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{20 \times 736}{220 \times \sqrt{3} \times 0,80 \times 0,96} = 50,3 \text{ A}$$

b) Pela Tabela 6.7, vemos que, para a letra-código F, a relação kVA/cv varia de 5,00 a 5,59. Adotemos o valor 5,00. A corrente de partida I_p será:

$$I_p = \frac{\frac{\text{kVA}}{\text{cv}} \times P_{cv} \times 1.000}{U \times \sqrt{3}} = \frac{5 \times 20 \times 1.000}{220 \times \sqrt{3}} = 263 \text{ A}$$

Quando não se conhecer a letra-código e o motor for de indução, numa avaliação preliminar poder-se-á multiplicar o valor da corrente nominal por 4 ou mesmo por 6, para ter a corrente de partida.

6.11 DADOS DE PLACA

Os fabricantes em geral afixam ao motor uma placa na qual são indicados dados referentes ao mesmo e baseados nos quais se pode elaborar adequadamente o projeto de instalação do motor. Estes dados em geral são os seguintes:

- Fabricante
- Tipo (indução, anéis, síncrono etc.)
- Modelo e número de fabricação ou de carcaça (*frame number*)
- Potência nominal
- Número de fases
- Tensão nominal
- Corrente (contínua ou alternada)
- Frequência da corrente
- Rotações por minuto (rpm)
- Intensidade nominal da corrente (I_n)
- Regime de trabalho (contínuo e não-permanente)
- Classe de isolamento
- Letra-código
- Fator de serviço (FS)

Fazemos algumas observações quanto a alguns destes itens aos quais ainda não nos referimos.

Classe de isolamento do motor. A classe de isolamento dos condutores das bobinas do motor depende da temperatura a que os mesmos poderão vir a ser submetidos, e esta temperatura é função da intensidade da corrente absorvida para atender à carga e ao regime de trabalho do motor.

A National Electric Manufacturers Association (NEMA) prevê as quatro classes de isolamentos indicadas na Tabela 6.8.

Fator de serviço (FS). Os motores podem funcionar com certa sobrecarga, desde que o regime de operação não seja contínuo. Esta sobrecarga, conforme veremos, é prevista também no dimensionamento dos condutores e dispositivos de proteção. Trabalhando em sobrecarga, o fator de potência e o rendimento do motor naturalmente cairão. Na placa consta o fator de serviço, FS, do motor. O FS é valor que, multiplicado pela potência nominal, conduz ao valor de uma potência tolerável para períodos não muito longos de funcionamento. Em outras palavras, sem que ocorra um aquecimento incompatível com a classe de isolamento do motor.

Tabela 6.8 Classes de isolantes empregados nos motores

Classe	Temperatura (°C)	Isolante
O	90°	Algodão, seda, papel não impregnados de óleo.
A	105°	Algodão, seda, papel etc. impregnados e revestidos de esmalte sobre os condutores.
B	125°	Mica, asbestos, vidro e outras substâncias inorgânicas, combinadas com substâncias orgânicas.
C	175°	Mica, asbestos, silicone.

6.12 LIGAÇÕES DOS TERMINAIS DOS MOTORES

No motor existe uma caixa onde se encontram os bornes para ligações. Quando o motor é previsto para funcionar sob uma única tensão, tem-se apenas que ligar os condutores da linha aos *bornes* ou *terminais* numerados 1, 2 e 3. Mas há motores que podem operar sob duas tensões, por exemplo, 220/380 V, de modo que se deve atender às ligações nos terminais, conforme a tensão com a qual o motor irá funcionar.

Suponhamos um motor de 220/380 V (Fig. 6.6). Para 220 V, a ligação interna do motor deverá ser feita em triângulo, de modo que se devam estabelecer as ligações dos bornes em: $T_1 - T_6$, $T_2 - T_4$ e $T_3 - T_5$.

Se a alimentação for feita em 380 V (Fig. 6.7), a ligação será em estrela, de modo que os bornes 4, 5 e 6 são conectados.

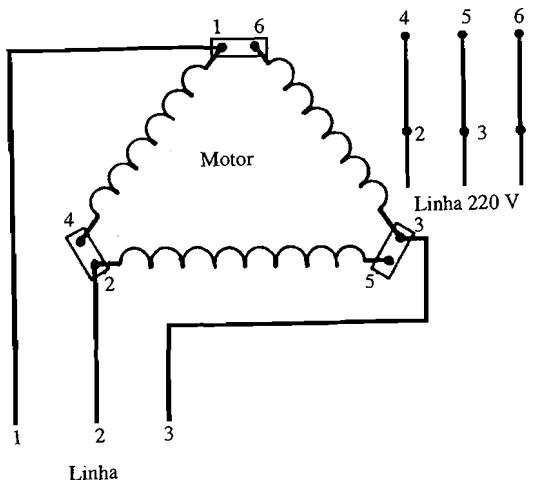


Fig. 6.6 Ligação em triângulo, 220 V

6.13 CIRCUITOS DE MOTORES

Entende-se por "círcuito de motor" o conjunto formado pelos condutores e dispositivos necessários ao comando, controle e proteção do motor, do ramal e da linha alimentadora.

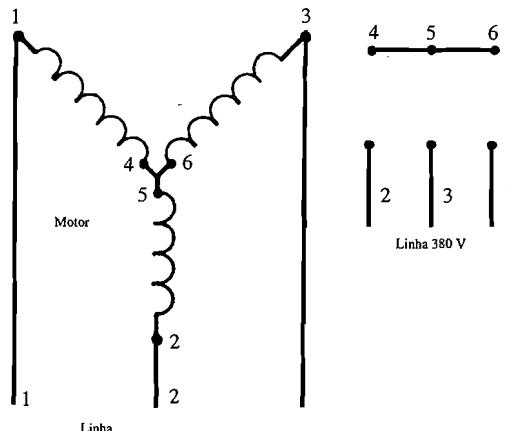


Fig. 6.7 Ligação em estrela, 380 V

A Fig. 6.8 mostra um esquema típico.

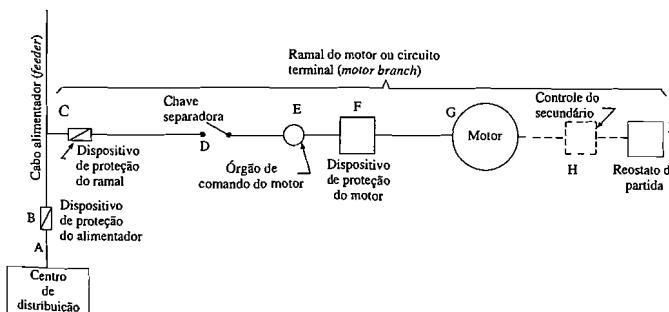


Fig. 6.8 Esquema típico de ramal de motor elétrico

Fazemos algumas observações sobre os elementos componentes do esquema da Fig. 6.8. Temos:

- A) Cabo alimentador (*feeder*).
- B) Dispositivo de proteção do alimentador (*overload protective device*).
- C) Dispositivo de proteção do ramal do motor. Protege os condutores do ramal, os dispositivos de controle e o motor contra curtos-circuitos.
- D) Dispositivo de seccionamento. É uma chave seccionadora (*disconnecting mean*).
- E) Dispositivo de controle ou comando do motor (*controller*).
- F) Dispositivo de proteção do motor (*motor running protection device*).

- G) Motor.
 H) Dispositivo de controle do secundário. Usado quando o motor é de rotor em anéis, controlando sua velocidade.
 I) Resistores ou reostato do secundário. Permite a partida com menor intensidade da corrente e, portanto, mais lentamente.
 Em certos casos, notadamente para motores de grande potência, pode haver ainda:
 • Dispositivos de sinalização.
 • Aparelhos de medição de corrente, tensão e potência.
 Entre as diversas maneiras de se projetarem os circuitos dos motores, aparecem com frequência os esquemas típicos apresentados abaixo.

6.13.1 CIRCUITOS TERMINAIS INDIVIDUAIS COM DISTRIBUIÇÃO RADIAL

Cada motor tem um ramal individual, partindo de um centro de distribuição. Nos edifícios, é usado para alimentação individual dos motores dos elevadores, das bombas etc. (Fig. 6.9).

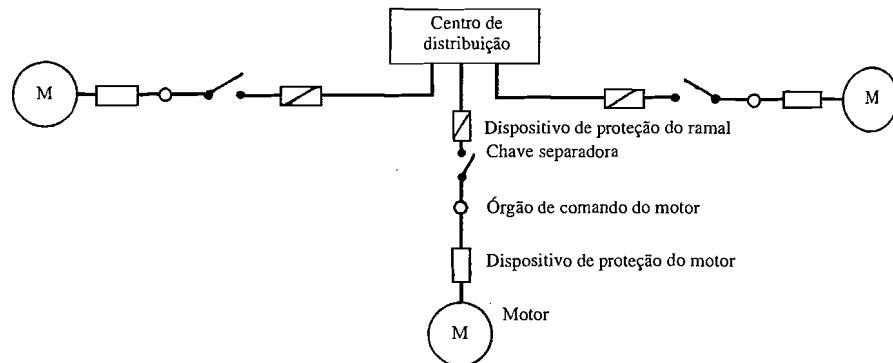


Fig. 6.9 Circuitos terminais individuais

6.13.2 CIRCUITOS PARTINDO DE UM ALIMENTADOR GERAL

O ramal de cada motor deriva de um ponto de cabo alimentador geral que lhe fique o mais próximo possível. Portanto, o alimentador vai dando ramificações ao longo de sua extensão (Fig. 6.10).

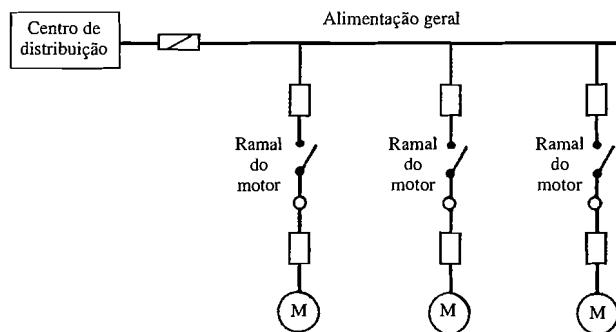


Fig. 6.10 Circuitos terminais partindo de um alimentador geral comum

6.13.3 CIRCUITOS INDIVIDUAIS DE MOTORES DERIVANDO DE RAMAIS SECUNDÁRIOS DE UM ALIMENTADOR GERAL

De cada ramal secundário podem derivar vários circuitos individuais. É um sistema usado em instalações fabris para alimentação de conjuntos de motores (Fig. 6.11).

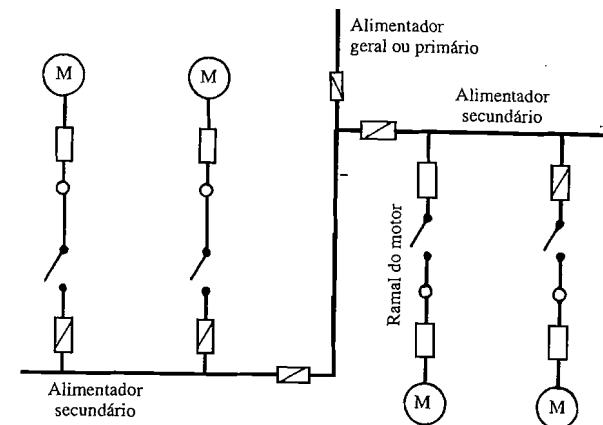


Fig. 6.11 Alimentadores secundários e primário

6.13.4 MESMO CASO QUE O ANTERIOR, PORÉM COM OS RAMAIS SEM PROTEÇÃO PRÓPRIA

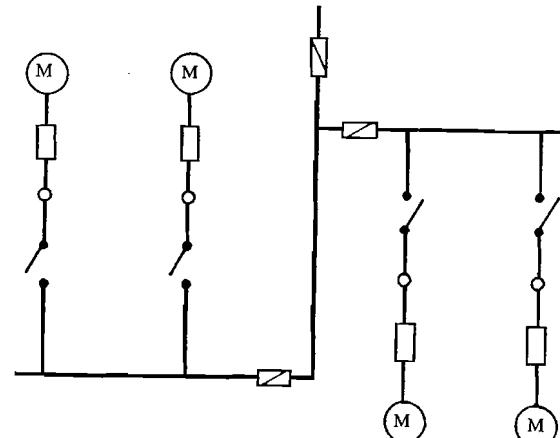


Fig. 6.12 Alimentadores secundários com proteção apenas dos motores

6.13.5 ALIMENTAÇÃO DE MOTORES OU APARELHOS DE PEQUENA POTÊNCIA EM CIRCUITOS DE LUZ

Um mesmo circuito de iluminação *não pode conter tomadas*, as quais, por determinação da ABNT, através da norma NBR5.410/97, deverão ser ligadas em circuito próprio e exclusivo, independente do circuito de iluminação. Se a soma das potências dos aparelhos previstos para serem ligados simultaneamente for igual ou inferior a 1.200 W, pode-se proteger o circuito com uma única chave com fusíveis ou com um disjuntor (Fig. 6.13).

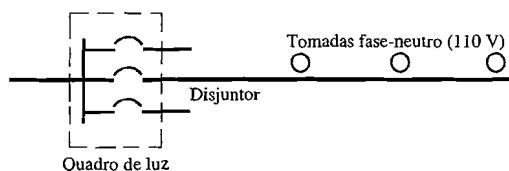


Fig. 6.13 Alimentador de tomadas para pequenos motores

6.14 DIMENSIONAMENTO DOS ALIMENTADORES DOS MOTORES

6.14.1 DEFINIÇÕES

Vimos, no item 6.13, diversas maneiras de se realizar a alimentação de energia a um motor elétrico. Trataremos, agora, do dimensionamento dos condutores.

Neste dimensionamento, existem dois fatores a considerar:

- *Fator de serviço (FS)*, que, multiplicado pela intensidade nominal da corrente do motor, nos dá o valor a considerar no ramal de um motor para o dimensionamento dos condutores, isto é, a máxima corrente que circulará no motor em funcionamento normal, após sua partida.
- *Fator de demanda (FD)*, que vem a ser a razão entre a máxima solicitação simultânea prevista para o sistema e a carga total instalada. Para introduzir este fator, é necessário um perfeito conhecimento do regime e dos horários de funcionamento dos motores, o que supõe um programa bem-definido das operações a que os motores estão relacionados. Encontram-se tabelas dos fatores de demanda, por exemplo, no *American Electricians Handbook*, de Croft, e no *Electrical Engineers Handbook*, de Knowlton, que servem apenas como uma orientação, embora sejam previstos pelo NEC (430-26).

6.14.2 CRITÉRIOS A SEREM USADOS NO DIMENSIONAMENTO DOS ALIMENTADORES

1.º CASO: ALIMENTADOR PARA APENAS UM MOTOR (Figs. 6.8 e 6.9).

O alimentador é o próprio ramal partindo de um centro de distribuição. A corrente dada por:

$$I \geq 1,25 \times I_n (\text{do motor})$$

2.º CASO: ALIMENTADOR PARA VÁRIOS MOTORES (Fig. 6.10).

Há duas hipóteses:

- Os motores não partem simultaneamente*, ou seja, cada motor parte isoladamente.

$$I_{\text{alimentador}} \geq 1,25 \times I_n (\text{motor de maior potência}) + \sum I_n (\text{dos motores restantes}) \quad 6.17$$

Levando em conta o fator de demanda (FD), teremos:

$$I_{\text{alimentador}} \geq 1,25 \times I_n (\text{motor de maior potência}) + (\text{fator de demanda}) \times \sum I_n (\text{motores restantes}) \quad 6.18$$

- Dois ou mais motores partem simultaneamente.*

$$I_{\text{alimentador}} \geq 1,25 \times I_n (\text{motores que partem simultaneamente}) + \sum I_n (\text{motores restantes}) \quad 6.19$$

Levando em consideração o fator de demanda, teremos:

$$I_{\text{alimentador}} \geq 1,25 \times I_n (\text{motores que partem simultaneamente}) + (\text{fator de demanda}) \times \sum I_n (\text{motores restantes}) \quad 6.20$$

3.º CASO: ALIMENTADOR GERAL DE VÁRIOS ALIMENTADORES SECUNDÁRIOS.

$$I_{\text{alimentador}} \geq 1,25 \times I_{\text{alimentador mais carregado}} + \sum I_{\text{(demais alimentadores)}} \quad 6.21$$

Exemplo 6.3

Calcular a corrente no ramal de um motor de 7,5 cv, 220 V.

Solução

A corrente nominal do motor é

$$I_n = \frac{736 \times P}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta}$$

Admitamos $\cos \varphi = 0,85$ e $\eta = 0,90$; $7,5 \text{ cv} = 7,5 \times 736 \text{ W} = 5.520 \text{ W}$

$$I_n = \frac{736 \times 7,5}{220 \times \sqrt{3} \times 0,85 \times 0,90} = 18,9 \text{ A}$$

Corrente no alimentador

$$I = 1,25 \times I_n = 1,25 \times 18,9 = 23,6 \text{ A}$$

■ Exemplo 6.4

Um alimentador trifásico, 220 V, alimenta os seguintes motores:

- A — 1 × 15 cv
- B — 1 × 10 cv
- C — 3 × 5 cv
- D — 1 × 3 cv
- E — 1 × 2 cv

Os motores A e D partem simultaneamente.

Qual a intensidade de corrente a considerar no alimentador geral?

Solução

Calculemos as intensidades de corrente pela expressão:

$$I_n = \frac{736 \times P}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta}, \text{ admitindo } \cos \varphi = 0,85 \text{ e } \eta = 0,90.$$

Motor A — 15 cv — $I_n = 37,87 \text{ A}$

B — 10 cv — $I_n = 25,24 \text{ A}$

C — 5 cv — $I_n = 12,62 \text{ A}$

D — 3 cv — $I_n = 7,58 \text{ A}$

E — 2 cv — $I_n = 5,05 \text{ A}$

Como A e D partem simultaneamente, teremos para a corrente no alimentador:

$$I = 1,25(37,87 + 7,58) + 25,24 + (3 \times 12,62) + 5,05 = 124,97$$

6.1.1 DIMENSIONAMENTO COM BASE NA QUEDA DE TENSÃO

Os ramais e alimentadores de motores são dimensionados com base na queda de tensão permitida pelas normas. Usando um critério usualmente utilizado para a queda de tensão, é adotado o seguinte valor (ver Fig. 4.7):

4% — no circuito desde o quadro geral até o motor mais afastado, sendo:

2% — correspondentes aos alimentadores e

2% — correspondentes aos ramais.

A queda de tensão pode ser calculada pelas expressões seguintes e supõe que a seção do condutor seja uniforme ao longo de toda a extensão.

a) Para circuitos monofásicos:

$$S = \frac{2\rho(I_1 \times l_1 \times \cos \varphi_1 + I_2 \times l_2 \times \cos \varphi_2 + \dots)}{u} = \frac{2 \sum I \times l \times \cos \varphi}{56 \times u} \quad 6.22$$

b) Para circuitos trifásicos:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho(I_1 \times l_1 \times \cos \varphi_1 + I_2 \times l_2 \times \cos \varphi_2 + \dots)}{u} = \frac{\sqrt{3} \times \sum I \times l \times \cos \varphi}{56 \times u} \quad 6.23$$

sendo:

S = seção do condutor (mm^2)

I = intensidade da corrente aparente (ampères)

l = comprimento do trecho onde passa a corrente de intensidade I

u = queda de tensão absoluta em volts. Por ex.: $0,01 \times 220 = 2,2 \text{ V}$

ρ = resistividade do material do condutor

Para o cobre, $\rho = \frac{1}{56} \left(\frac{\text{ohm} \times \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$, e para o

alumínio, $\rho = \frac{1}{32} \left(\frac{\text{ohm} \times \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$.

■ Exemplo 6.5

Determinar a seção do condutor do alimentador trifásico 220 V do qual partem derivações para os quatro motores indicados na Fig. 6.14. Queda de tensão admissível igual a 2%.

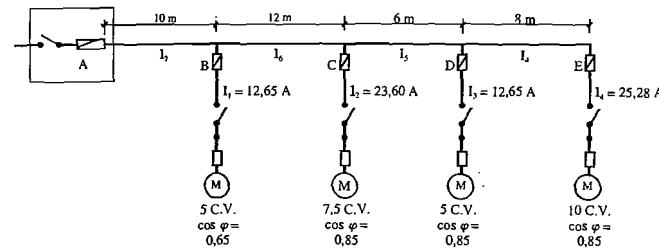


Fig. 6.14 Esquema mostrando um alimentador trifásico do qual partem derivações para quatro motores

Solução

Existem três métodos para o dimensionamento dos condutores. O primeiro estabelece a condição de atender à exigência da mesma queda de tensão nos ramais, com um mínimo de gasto de material do condutor. O segundo, menos trabalhoso, admite um condutor de seção uniforme, dando as ramificações. Aplicam-se as equações anteriormente indicadas. O terceiro admite que a queda de tensão total permitida seja subdividida ao longo do alimentador e que, por exemplo, a queda de tensão de 2% se distribua, de modo que entre A e B, entre B e C, entre C e D e entre D e E a queda seja de 0,5%.

Calcula-se, então, cada trecho separadamente.

Consideremos o segundo caso:

$$I_4 = I_{D-E} = I_4 = 25,28 \text{ A}$$

$$I_5 = I_{C-D} = 1,25 \times I_4 + I_3 = (1,25 \times 25,28) + 12,65 = 44,25 \text{ A}$$

$$I_6 = I_{B-C} = 1,25 \times I_4 + (I_3 + I_2) = (1,25 \times 25,28) + 12,65 + 23,60 = 67,85 \text{ A}$$

$$I_7 = I_{A-B} = 1,25 \times I_4 + (I_3 + I_2 + I_1) = (1,25 \times 25,28) + 12,65 + 23,60 + 12,65 = 80,50 \text{ A}$$

Tratando-se de circuitos trifásicos, temos para uma queda de tensão de 2%:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times \sum I \times l \times \cos \varphi}{56 \times u} = \frac{\sqrt{3} \times 0,85[(25,28 \times 36) + (12,65 \times 28) + (23,60 \times 22) + (12,65 \times 10)]}{56 \times (0,02 \times 220)}$$

$$S = \frac{1,47[910,1 + 354,2 + 519,2 + 126,5]}{246,4} = 11,4 \text{ mm}^2$$

Para a queda de tensão de 2%, o condutor será de 16 mm^2 , que é a bitola comercial normalizada imediatamente superior ao valor encontrado.

Sob o ponto de vista de aquecimento do condutor, consultando a tabela de capacidade de condução de fios e cabos, dispostos em eletrodutos embutidos, temos as bitolas seguintes para três condutores em eletrodutos:

Trecho D-E	$I_{D,E} = 25,28 \text{ A}$	— bitola 4 mm^2
C-D	$I_{C,D} = 44,25 \text{ A}$	— bitola 10 mm^2
B-C	$I_{B,C} = 67,85 \text{ A}$	— bitola 16 mm^2
A-B	$I_{A,B} = 80,50 \text{ A}$	— bitola 25 mm^2

Não seria prático utilizar quatro bitolas diferentes numa extensão de 36 metros, de modo que utilizaremos o condutor de 16 mm^2 ao longo dos 36 metros. Se supusermos que a queda de tensão de 2% se distribui no alimentador, de modo que em cada um dos quatro trechos ela seja de 0,5%, teremos:

$$\text{Trecho D-E } S = \frac{\sqrt{3} \times 25,28 \times 8 \times 0,85}{56 \times 0,005 \times 220} = 4,83 \text{ mm}^2 \quad \text{bitola IEC}$$

$$\text{C-D } S = \frac{\sqrt{3} \times 44,25 \times 6 \times 0,85}{56 \times 0,005 \times 220} = 6,34 \text{ mm}^2 \quad 10 \text{ mm}^2$$

$$\text{B-C } S = \frac{\sqrt{3} \times 67,85 \times 10 \times 0,85}{56 \times 0,005 \times 220} = 16,22 \text{ mm}^2 \quad 25 \text{ mm}^2$$

$$\text{A-B } S = \frac{\sqrt{3} \times 80,5 \times 10 \times 0,85}{56 \times 0,005 \times 220} = 19,24 \text{ mm}^2 \quad 25 \text{ mm}^2$$

6.14.4 TABELAS PARA ESCOLHA DOS CONDUTORES

Os fabricantes de fios e cabos apresentam em seus catálogos tabelas elaboradas pelas fórmulas que foram indicadas e que permitem a escolha do condutor em função da queda de tensão adotada. Para a utilização da Tabela 6.9, calcula-se o produto $I \times l$ (ampères × metros), e com este valor entra-se na coluna correspondente à queda de tensão escolhida.

■ Exemplo 6.6

Um motor de indução trifásico, 220 V — 7,5 cv, acha-se a 28 metros do quadro de distribuição. Admitindo uma queda de tensão de 1% neste ramal, qual deverá ser a seção dos condutores? Empregar? O valor de $\cos \varphi = 0,85$ e de $\eta = 0,90$.

Solução

a) Corrente nominal

$$I_n = \frac{P \times 736}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{7,5 \times 736}{220 \times \sqrt{3} \times 0,85 \times 0,90} = 18,94 \text{ A}$$

b) Corrente a considerar no ramal

$$I = 1,25 \times I_n = 23,68 \text{ A}$$

c) Produto $I \times l$

$$I \times l = 23,7 \times 28 = 663,04$$

d) Na Tabela 6.9, entrando com o valor $I \times l$ na coluna referente à queda de tensão entre fases, obtemos como valor mais próximo, imediatamente superior, $I \times l = 711$, e o condutor será de 10 mm^2 .

Tabela 6.9 Escolha dos condutores em função dos ampères × metros — sistema trifásico
Dimensionamento dos condutores pela máxima queda de tensão

Tensões normais entre linhas	220 V	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
	380 V	0,57%	1,154%	1,732%	2,3%	2,9%	3,4%	4,0%	4,6%
Isolamento PVC/70 série métrica (mm²)									
Ampères × metros									
Condutores singulos de cobre — instalações em eletrodutos									
1,5	106	213	320	426	533	639	746	853	
2,5	178	355	533	711	888	1.066	1.244	1.421	
4	284	568	853	1.137	1.421	1.705	1.990	2.274	
6	426	853	1.279	1.705	2.132	2.558	2.985	3.411	
10	711	1.421	2.132	2.842	3.553	4.264	4.974	5.685	
16	1.137	2.274	3.411	4.548	5.685	6.822	7.959	9.096	
25	1.776	3.553	5.329	7.106	8.882	10.659	12.435	14.212	
35	2.487	4.974	7.461	9.948	12.435	14.923	17.410	19.897	
50	3.553	7.106	10.659	14.212	17.765	21.318	24.871	28.424	
70	4.974	9.948	14.923	19.891	24.871	29.845	34.819	39.794	
95	6.751	13.501	20.252	27.003	33.753	40.504	47.255	54.006	
120	8.527	17.054	25.582	34.109	42.636	51.163	59.690	68.218	
150	10.659	21.318	31.977	42.636	53.295	63.954	74.613	85.272	
185	13.146	26.292	39.438	52.584	67.730	78.877	92.023	105.169	
240	17.054	34.109	51.163	68.218	85.272	102.326	119.381	136.435	
300	21.318	42.636	63.954	85.272	106.590	127.908	149.226	170.544	
400	28.424	56.848	85.272	113.696	142.120	170.544	198.968	227.392	
500	35.530	71.060	106.590	142.120	177.650	213.180	248.710	284.240	

6.15 DISPOSITIVOS DE LIGAÇÃO E DE DESLIGAMENTO

Vimos no item 6.13 os elementos constitutivos de um ramal de alimentação de um motor. Consideraremos, agora, os dispositivos empregados para a ligação ou o desligamento dos motores, denominados genericamente de *chaves de partida* dos motores.

As chaves de partida dos motores podem ser de dois tipos:

- *De ligação direta;*
- *De redução da corrente de partida.*

6.15.1 LIGAÇÃO DIRETA

Para motores até 5 cv (e excepcionalmente até 30 cv), ligados à rede secundária trifásica, podem-se usar chaves de partida direta. Acima desta potência, deve-se empregar um dispositivo de partida que limite a corrente de partida a um máximo de 225% da corrente nominal do motor.

Não se devem empregar chaves de faca como chaves de partida, mas apenas como elemento para isolar o circuito após o desligamento de um disjuntor anterior a ela.

Empregam-se correntemente os *contatores* e os *disjuntores* na ligação ou desligamento dos motores.

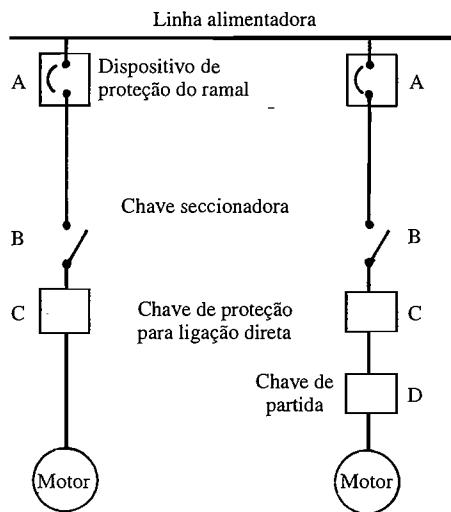


Fig. 6.15 Esquema de proteção das linhas alimentadoras dos motores

CONTATORES

São usados ~~varios~~ chaves “liga-desliga”, acionados, como vimos no Cap. 5, por um dispositivo eletromagnético. Podem ser acionados no local ou a distância, com os botões em local adequado, ou ainda comandados por pressostatos, termostatos, chaves de nível ou outros dispositivos análogos. Alguns tipos apresentam, associados, fusíveis de ação retardada Diazed ou NH e até mesmo relés de sobrecarga, constituindo-se numa *chave magnética* (guarda-motor), eficiente contra sobrecarga e curtos-circuitos.

DISJUNTORES

Funcionam também como chaves “liga-desliga”, possuindo, como foi visto no Cap. 5, relés térmicos (bimetálicos), ajustáveis, para proteção contra sobrecarga nas três fases e relés magnéticos, não-ajustáveis, para proteção contra curtos-circuitos nas três fases. Alguns possuem, também, relés de subtensão (bobina de mínima) para proteção contra queda de tensão. Podem ser comandados no local ou a distância. É comum usar-se o disjuntor como chave do motor no quadro ou protegendo o ramal do motor e usar-se o contator como chave de comando “liga-desliga”.

Existem conjuntos pré-montados que reúnem, na mesma caixa, disjuntor, contator tripolar (dispositivo de controle), relé bimetálico (proteção contra sobrecargas).

6.15.2 LIGAÇÃO COM DISPOSITIVOS REDUTORES DA CORRENTE DE PARTIDA

Empregam-se:

- Chaves “estrela-triângulo”;
- Chaves compensadoras com autotransformador de partida;
- Indutor ou resistor de partida;
- Softstarter

6.15.2.1 Chaves Estrela-Triângulo

São usadas para motores de indução trifásicos, com rotor em gaiola, para potências de até 130 cv em 220 V. Estabelecem de início a ligação do estator do motor em estrela.

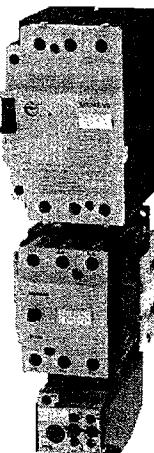


Fig. 6.15a Composição: disjuntor, contator e relé de sobrecarga

Características da combinação: desligamento do curto-círcuito e posterior religamento pelo disjuntor. Desligamento da sobrecarga através do relé e religamento pelo contator. Manobras normais pelo contator.

e, quando o rotor atinge a velocidade nominal, mudam a ligação para “triângulo”. Com isto, a corrente de linha na partida (na ligação em estrela) fica reduzida de $1/3$ da ligação em triângulo, e a tensão de fase aplicada fica reduzida de $1/\sqrt{3}$. Como o conjugado-motor é proporcional ao quadrado da tensão, ele fica reduzido de $1/3$ em relação à ligação-triângulo.

As chaves estrela-triângulo podem ser de comando manual local (até 60 A) ou automáticas, a distância (até 630 A) por “botão”, chaves de nível, pressostatos etc. Existem alguns tipos que reúnem ainda, num todo, dispositivos auxiliares contra sobrecarga e curto-circuito. As chaves são aplicáveis a motores cuja tensão nominal em triângulo coincide com a tensão nominal entre fases da rede alimentadora. Assim, um motor 220 Δ/380 Y não pode ser ligado com chave estrela-triângulo numa rede de 380 V, entre fases. Para esta rede, o motor deveria ser 380 Δ/660 Y, porque 380 V é a tensão entre fases da rede. (Ex.: chave estrela-triângulo, 3TE da Siemens.)

Como o conjugado de partida fica muito reduzido na fase de ligação em estrela, só se deve usar chave estrela-triângulo quando o motor tiver conjugado elevado, para partida a plena carga, somente quando as cargas forem leves (por exemplo, ventiladores) ou para condições médias de partida (máquinas-ferramentas), porém não se deve usar para cargas pesadas (máquinas elevatórias, excêntricas etc.). Recomenda-se, sempre que possível, que a chave estrela-triângulo seja aplicada em partidas em vazio (sem carga) ou com carga parcial; somente depois de ter sido atingida a rotação nominal, a carga (total) poderá ser aplicada.

6.15.2.2 Chaves Compensadoras de Partida

São chaves automáticas utilizadas em carga de motores trifásicos com rotor em gaiola. Reduzem a corrente de partida, evitando sobrecarregar a rede alimentadora. Deixam, porém, o motor com um momento suficiente para o arranque, embora o reduzam em cerca de 64%.

Na partida, um contator liga em estrela um autotransformador e, por um contator auxiliar, liga um relé de tempo. A tensão na chave compensadora é reduzida através de

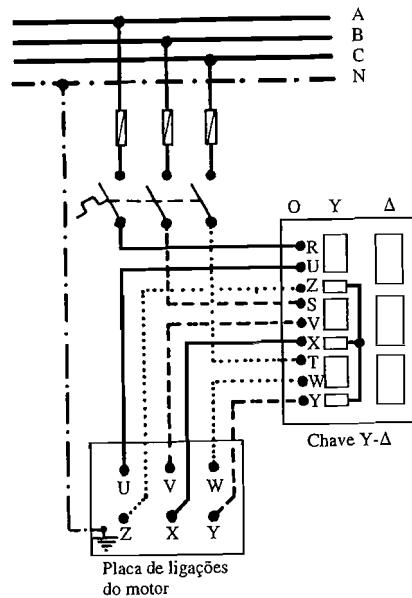


Fig. 6.16 Ligações para a partida da chave estrela-triângulo

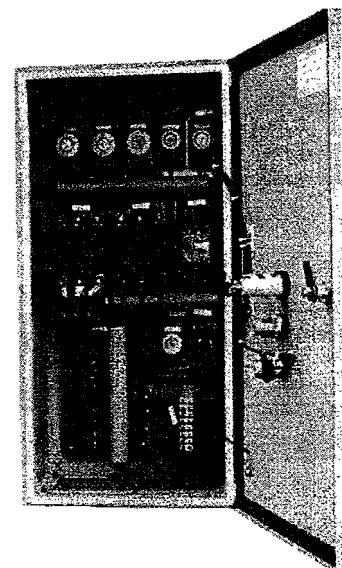


Fig. 6.16a Chave estrela-triângulo. Fabricante Siemens

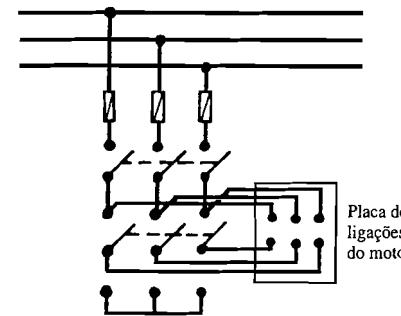


Fig. 6.16b Chave estrela-triângulo de comando manual

um autotransformador com *taps* para 50, 65 e 80% da tensão normal. O motor parte, assim, em tensão reduzida. Após o tempo ajustado para a entrada do motor na velocidade nominal, o relé de tempo desliga o contator e introduz no circuito um outro contator, o qual liga o motor diretamente à rede. São usados na partida de compressores, britadores, calandras, bombas helicoidais e axiais e grandes ventiladores. Podem ser acionadas por botão local ou por chave de comando. (Ex.: chave compensadora CAT da Siemens.)

A Fig. 6.17 mostra o diagrama unifilar de uma chave compensadora automática Siemens, cujo princípio de funcionamento é o seguinte. Ao comando “liga”, segue-se a operação do contator C_3 , que conecta em estrela o autotransformador. Este contator, por intermédio de um de seus contatos auxiliares, liga o contator C_2 e o relé de tempo. O motor é, assim, alimentado com tensão reduzida, correspondente à tensão da derivação escolhida. Após o tempo ajustado para a partida do motor, o relé de tempo desliga o contator C_3 e este introduz no circuito o contator C_1 , ligando o motor diretamente à rede. É de se observar que o contator C_2 só é desligado após a entrada de C_1 no circuito. Desse modo, o autotransformador trabalha, por curto tempo, como uma reatância.

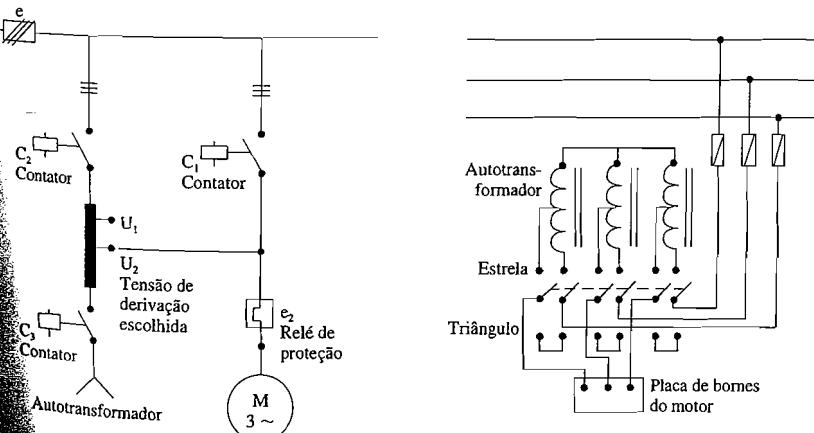


Fig. 6.17 Diagrama da chave compensadora

Fig. 6.17a Chave compensadora com autotransformador de comando manual

■ Exemplo 6.7

Verificar o que ocorre quando se usa uma chave compensadora com tensão calibrada para 65%, supondo tratar-se de um motor trifásico com rotor em curto-círcuito, ligado em 220 V, com corrente de partida igual a 120 A.

Solução

a) Tensão nos bornes, com ligação nos *taps* de 65%.

$$U_m = 0,65 \times 220 = 143 \text{ V}$$

b) Corrente no motor I_m .

$$I_m = 0,65 \times 120 = 78 \text{ A}$$

c) Corrente do circuito no autotransformador.

O produto (corrente \times tensão) é igual na entrada e na saída do autotransformador, de modo que:

$$I_e \times U_e = 0,65 U_e \times I_m$$

sendo U_e a tensão do circuito.

Portanto,

$$I_e = 78 \times 0,65 = 50,7 \text{ A}$$

d) Conjugado de partida do motor.

É proporcional ao quadrado da tensão aplicada aos bornes do motor. Esta tensão ficou reduzida para 65% do seu valor na linha. A redução será, pois, de $0,65^2 = 0,42$ (42% do conjugado que haveria com partida direta).

6.15.2.3 Resistores de Partida para Motores com Rotor em Curto-Círcuito

1.º Caso: Resistores fixos

Ligando-se ao enrolamento um resistor fixo, a tensão se dividirá de acordo com a lei das ligações em série entre o resistor fixo e a resistência do enrolamento. Atuando-se sobre o resistor fixo, consegue-se reduzir a tensão de partida e, portanto, a corrente de partida. Logo que a velocidade nominal é atingida, os resistores são curto-circuitados, e o motor ficará ligado a plena potência na tensão da rede (Fig. 6.18). Usa-se este método para o caso de motores de pouca potência. Tornam a partida suave e o dispositivo é de baixo custo.

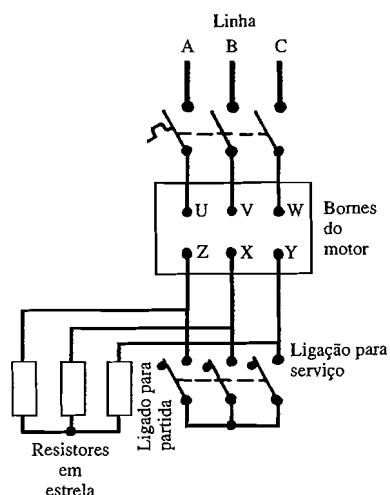


Fig. 6.18 Partida com resistores fixos em estrela

2.º Caso: Resistores de partida propriamente ditos

Ajustam-se os três resistores e ligam-se ao estator, de modo que a tensão de partida pode ser reduzida a tal ponto que o motor, na partida, venha a absorver apenas a corrente nominal. Em geral, para o emprego dos resistores, dá-se a partida do motor *em vazio*, isto é, sem carga. Em seguida, aciona-se um acoplamento magnético ou óleo-dinâmico, para o acionamento da carga. Isto é particularmente interessante quando houver sistema de engrenagens na transmissão.

Na ligação em triângulo, os resistores são ligados antes do enrolamento do estator (Fig. 6.19a), e a chave possui uma posição de desligamento. Na ligação em estrela, o ponto de estrela é ligado ao dispositivo de partida, e a chave não tem posição de desligamento (Fig. 6.19b).

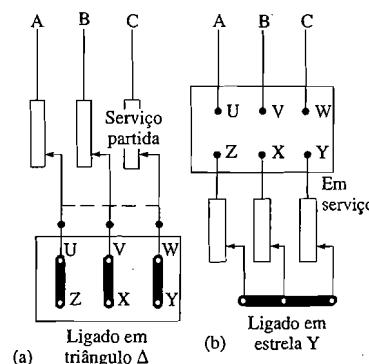


Fig. 6.19 Partida com resistores ajustáveis

16 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DOS MOTORES

A proteção dos motores é realizada com o emprego de:

- Fusíveis de ação retardada.
- Disjuntores.

Como vimos no Cap. 5, os fusíveis protegem contra correntes de grande intensidade e curta duração, ao passo que os disjuntores, além de atenderem a esse objetivo, protegem, também, contra sobrecargas que podem não ser muito grandes mas que, por serem de longa duração, oferecem riscos à vida e à segurança dos equipamentos e condutores, deteriorando os isolamentos.

Os motores devem ter dispositivos de proteção, porém estes dispositivos devem permitir que os motores possam funcionar indefinidamente com uma corrente máxima igual a 125% da corrente nominal dos mesmos, isto é:

$$I = 1,25 \times I_n$$

6.24

Acontece que a corrente de partida de um motor é muito superior a $1,25 I_n$, chegando a ser igual a $3 \times I_n$, e, em certos tipos de motor, partindo com momento resistente elevado, podendo chegar a $10 \times I_n$. Portanto, é necessário que se empreguem dispositivos

capazes de, no início de funcionamento, suportar uma sobrecarga elevada de corrente, para depois, já decorrido certo tempo de funcionamento, desligar o motor ou seu ramal, se a corrente absorvida vier a se tornar superior a 1,25 de sua corrente nominal. Vejamos, através de uma representação gráfica, como se opera a proteção com o emprego dos fusíveis de ação retardada Diazed e NH e dos disjuntores.

Representemos (Fig. 6.20) as curvas características (intensidade da corrente em função do tempo) correspondentes a um motor e a um fusível de ação instantânea.

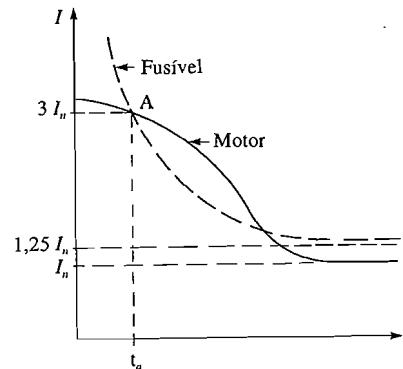


Fig. 6.20 Fusível fundindo antes de a corrente de regime ter atingido valor pouco acima de $1,25 \times I_n$.

Vemos que a curva $I = f(t)$ do fusível encontra a curva correspondente do motor no ponto A, após o tempo t_a . Isto mostra que o fusível irá fundir antes de ser atingida a corrente nominal ou a corrente de 1,25 vez o valor da corrente nominal de funcionamento.

Os fusíveis de ação instantânea (comuns), por serem de ação praticamente imediata, como se vê na Fig. 6.20, não se prestam à proteção dos motores, pois bem antes de a corrente de partida ter atingido o tempo necessário para alcançar o valor I_n , ou mesmo $1,25 \times I_n$, o fusível funde, interrompendo o circuito. O dispositivo de proteção deve ter uma curva $I = f(t)$ que se sobreponha à curva $I = f(t)$ do motor, pois, caso contrário, o fusível de ação retardada ou o disjuntor operariam antes que se apresentassem condições de risco. É o que mostra a Fig. 6.21.

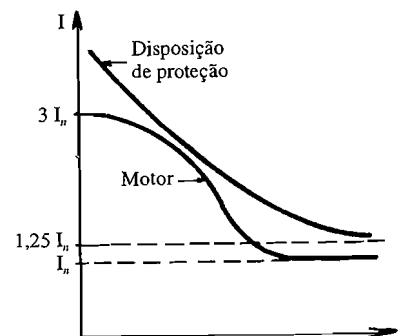


Fig. 6.21 Curvas $I = f(t)$ para o motor e o dispositivo de proteção

Se for empregado um fusível comum, capaz de permitir a passagem da corrente de partida do motor, muito embora ele proteja o motor contra correntes de curto-círcuito não o protegerá contra sobrecarga prolongada, superior a 125% da corrente nominal, como se observa na Fig. 6.22.

Pela razão apontada, só se devem usar fusíveis comuns se o motor partir com tensão reduzida e os porta-fusíveis ficarem fora do circuito, durante a partida.

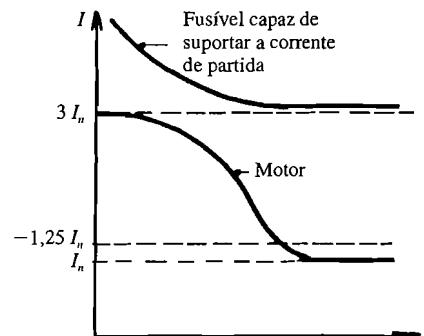


Fig. 6.22 O fusível, embora suporte a corrente de partida, não protege contra sobrecargas posteriores

6.17 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DO RAMAL

Estes dispositivos deverão suportar a corrente de partida do motor durante um tempo reduzido. Quando, porém, o motor estiver em regime, se houver sobrecarga prolongada ou curto-círcuito no ramal, deverão atuar interrompendo a corrente. A graduação dos dispositivos de proteção e a escolha do fusível de ação retardada dependem do tipo do motor, da letra-código do mesmo e do método empregado para a partida.

Na Tabela 6.10, vemos a percentagem da corrente em relação ao valor nominal e que deverá ser usada nos dispositivos de proteção.

Tabela 6.10 Percentagem da corrente a plena carga do motor, a considerar na proteção dos ramais de motores

Tipo de motor	Método de partida	Motor sem letra-código	Motor com letra-código	
			Letra	%
Monofásicos, trifásicos, de indução em gaiolas e síncronos	A plena tensão	300%	A	150
	Com tensão reduzida	Corrente nominal até 30 A a 250% Corrente nominal acima de 30 A a 200%	B até E F até V	250 300
Trifásico de anéis	—	150%	A B até E F até V	150 200 250

As Tabelas 6.11 e 6.12 fornecem os valores para ajuste do elemento temporizado do dispositivo de proteção contra sobrecarga e da corrente máxima dos fusíveis para proteção do ramal e do motor, nos casos de tensão de 220 V e 380 V, respectivamente.

A Tabela 6.13, da NBR-5.410, da ABNT, apresenta os valores dos fatores a aplicar à corrente de plena carga dos motores, para obter a corrente nominal ou de ajuste máximo dos dispositivos de proteção dos circuitos terminais.

■ Exemplo 6.8

Determinar a ajustagem da chave magnética de proteção de um motor de indução trifásico, 10 cv, 220 V, 60 Hz, letra-código E e a capacidade do fusível de proteção do ramal.

Solução

a) Corrente nominal (Tabela 6.11):

$$I_n = 27 \text{ A}$$

b) Ajuste da chave magnética de proteção do motor (Tabela 6.11).

Para $I_n = 27$, com ajustagem de 125%, obtemos $1,25 \times 27 = 33,75 \text{ A} \approx 34 \text{ A}$.

c) Pela Tabela 6.10, vemos que, para a letra-código E, a percentagem da corrente a plena carga do motor a considerar é de 250%.

Portanto, o *ramal* deve ser protegido com um fusível de $2,5 \times 27 = 67,5 \text{ A} \approx 70 \text{ A}$.

Acharíamos, aliás, imediatamente este valor usando a Tabela 6.11, considerando 250 como percentagem da corrente a plena carga do motor.

Tabela 6.11 Motores de indução trifásicos, 220 V, rotor em gaiola ou em anéis

cv	Corrente a plena carga aproximada (ampères)	Bitola mínima do condutor mm ²	Ajuste máximo do elemento temporizado do dispositivo de proteção do motor contra sobrecarga (ampères)	Máxima corrente nominal dos fusíveis no ramal alimentador (ampères)			
				125%	150	200	250
1/2	2	2,5	2,5	15	15	15	15
3/4	2,8	2,5	3,5	15	15	15	15
1	3,5	2,5	4,4	15	15	15	15
1 1/2	5	2,5	6,2	15	15	15	20
2	6,5	2,5	8,1	15	15	20	30
3	9	2,5	11,2	15	20	25	45
5	15	4	18,7	25	30	40	70
7,5	22	6	27,5	35	45	60	90
10	27	10	34	45	60	70	125
15	40	16	50	60	80	100	175
20	52	25	65	80	110	150	200
25	64	35	80	100	150	175	250
30	78	70	98	125	175	200	350
40	104	70	130	175	225	300	400
50	125	95	156	200	250	350	600
75	185	185	231	300	400	500	800
100	246	300	303	400	500	800	1.000
125	310	300	388	500	800	1.000	1.200
150	350	400	450	600	800	1.000	1.200
200	480	600	600	800	1.000	1.200	1.200

Tabela 6.12 Motores de indução trifásicos, 380 V, em gaiola ou em anéis

cv	Corrente a plena carga aproximada (ampères)	Bitola mínima do condutor mm ²	Ajuste máximo do elemento temporizado do dispositivo de proteção do motor contra sobrecarga (ampères)	Máxima corrente nominal dos fusíveis no circuito alimentador (ampères)			
				125%	150	200	250
1/2	1,2	2,5	1,5	15	15	15	15
3/4	1,6	2,5	2	15	15	15	15
1	2	2,5	2,5	15	15	15	15
1 1/2	2,9	2,5	3,6	15	15	15	15
2	3,8	2,5	4,8	15	15	15	15
3	5,2	2,5	6,5	15	15	15	20
5	8,7	2,5	10,9	15	20	25	30
7 1/2	12,8	4	16	20	30	35	40
10	15,7	4	19,6	25	35	40	50
15	23	6	29	35	50	60	70
20	30	10	37,7	45	60	80	90
25	37	16	46,4	60	80	100	125
30	45	25	56,6	70	90	125	150
40	60	35	75,4	90	125	150	200
50	73	35	90,6	110	150	200	225
60	87	70	108,8	150	175	225	300
75	107	70	134,1	175	225	300	350
100	143	120	178,4	225	300	400	450
125	180	185	224,8	300	400	450	600
150	209	300	261	350	450	600	800
200	278	400	348	450	600	800	1.000

6.18 CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES

Há alguns anos, vem sendo usado o chamado sistema CCM, designação que se dá a um centro de controle de motores.

Trata-se de um equipamento de manobra fornecido de fábrica, pronto para ser instalado e entrar em serviço. Sua principal vantagem é permitir a rápida substituição de uma gaveta por outra reserva, com reduzido tempo de parada do motor.

Um CCM consta de cubículos blindados, isto é, armários de chapa de aço devidamente compartimentados, para alojamento de gavetas extraíveis ou módulos. Nesses compartimentos são montados barramentos, cabos, seccionadoras, disjuntores, fusíveis, contatores, relés auxiliares etc.

A parte frontal do CCM pode ser constituída por uma única chapa ou dividida em painéis ou módulos.

Os CCM são projetados e fabricados obedecendo à NBR 6.808.

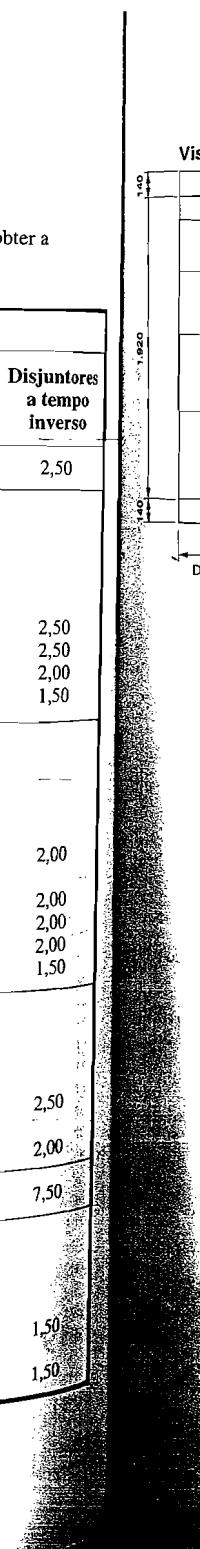
A Fig. 6.23 mostra esquematicamente um CCM da Siemens em vista frontal e corte transversal.

6.19 CURTO-CIRCUITO

Quando a resistência (*impedância* de um circuito em corrente alternada) cai a zero, diz-se que ocorre um *curto-circuito*. Pela lei de Ohm, $E = R \times I$, vê-se que a tensão, mantendo-se constante, e a resistência, caindo a zero, a corrente tenderia ao infinito. Na realidade, a impedância do sistema nunca chega a zero, pois entre o ponto onde ocorre o

Tabela 6.13 Fator a aplicar à corrente de plena carga de motores, para obter a corrente nominal ou de ajuste máximo dos dispositivos de proteção dos circuitos terminais

Tipo de dispositivo de proteção	Fator			
	Fusível sem retardo	Fusível retardado	Disjuntores de abertura instantânea	Disjuntores a tempo inverso
Monofásico, sem letra-código	3,00	1,75	7,00	2,50
Monofásico ou polifásico de gaiola ou síncrono, com partida a plena tensão por meio de resistor ou reator				
— sem letra-código	3,00	1,75	7,00	2,50
— letra-código F até V	3,00	1,75	7,00	2,50
— letra-código B até E	2,50	1,75	7,00	2,00
— letra-código A	1,50	1,50	7,00	1,50
Síncrono ou de gaiola com partida por meio de autotransformador				—
— sem letra-código ou inferior a 30 A	2,50	1,75	7,00	2,00
— sem letra-código e corrente nominal superior a 30 A	2,00	1,75	7,00	2,00
— letra-código F até V	2,50	1,75	7,00	2,00
— letra-código B até E	2,00	1,75	7,00	2,00
— letra-código A	1,50	1,50	7,00	1,50
De gaiola com alta reatância (sem letra-código)				
— corrente nominal inferior a 30 A	2,50	1,75	7,00	2,50
— corrente nominal superior a 30 A	2,00	1,75	7,00	2,00
De anéis (sem letra-código)	1,50	1,50	7,00	7,50
De corrente contínua (sem letra-código)				
Potência fornecida nominal igual ou inferior a 37 kW (50 cv)	1,50	1,50	2,50	1,50
Potência fornecida nominal superior a 37 kW (50 cv)	1,50	1,50	1,75	1,50



Operação	Altura (mm)	Largura (mm)	Profundidade (mm)	Instalação
Frontal	2.200 ²⁾	600	600	Encostado ou afastado da parede
Frontal e ³⁾ traseira (dúplex)	2.200 ²⁾	600	800	Afastado da parede 800 mm

1) Somente para CCM compartmentado.

2) Com moldura adicional 2.300 mm de altura.

3) Parte frontal com 24 módulos e parte traseira com 15 módulos.
Obs.: Cada módulo tem 80 mm de altura.

Fig. 6.23 Centro de controle de motores da Siemens

curto-circuito e a fonte geradora de energia existirá sempre uma certa impedância, o que conduz a um *valor finito* para a corrente, embora muito elevado.

Num circuito de corrente contínua, o curto-circuito é limitado apenas pelas resistências nele existentes. Quando se trata de corrente alternada, além das *resistências ôhmicas*, devemos considerar os valores das reatâncias indutivas que ocorrem onde há bobinas e, portanto, a corrente indutiva a que nos referimos no item 6.5, ao tratarmos do *fator de potência*. Da composição dos efeitos das resistâncias e das reatâncias indutivas resulta a chamada *impedância*, grandeza medida em ohms que limita o valor da corrente de curto-circuito nos sistemas de corrente alternada e que, se demonstra em eletrotécnica, é representada pela hipotenusa do triângulo cujos catetos são a resistência e a reatância indutiva. O cálculo da impedância total é a soma das impedâncias, desde o ponto onde se presume que venha a ocorrer o curto-circuito até a fonte que alimenta o circuito.

Assim, computa-se no cálculo da impedância do circuito de baixa tensão (motores etc.) a impedância do transformador e a impedância do circuito de alta tensão até chegar-se à impedância do gerador. A *corrente de curto-circuito será tanto menor quanto maior for o valor da impedância do sistema*. É importante o conhecimento da corrente de curto-circuito para a escolha dos dispositivos de proteção e sua calibragem, em uma subestação receptora. Para isto, a concessionária de energia fornece o valor da potência de curto-circuito a que deverá atender o disjuntor a óleo entre a rede externa e os transformadores da subestação. Pode-se, então, calcular a corrente de curto-circuito na baixa tensão do transformador, onde são instalados disjuntores a ar (*air circuit breakers*). Um dos processos que se adotam neste cálculo considera as características do transformador da subestação que alimenta o circuito a proteger, isto é, a potência (kVA) e a impedância do transformador, dada em percentagem. Para simplificar, supõe-se a potência do lado do primário do transformador como se fosse infinita, e que nada existe, além do transformador, para reduzir a corrente de curto-circuito. Teremos, para o valor da potência de curto-circuito:

$$kVA (\text{curto-circuito}) = \frac{100 \times kVA (\text{transformador})}{\text{Impedância} (\%)} \quad 6.25$$

$$I_{\text{curto-circuito}} = \frac{1.000 \times \text{kVA} (\text{curto-circuito})}{E \times \sqrt{3}} \quad 6.26$$

■ Exemplo 6.9

Em uma elevatória, deverá ser instalado um transformador de 750 kVA, 13.800/380 V, com impedância de 5%, para alimentar três grupos motor-bomba de 200 cv, sendo os motores de indução em gaiola. Calcular a corrente de curto-círcuito, a corrente de partida dos motores e determinar os dispositivos de proteção e sua calibragem. Admitir partida com chave compensadora.

Solução

a) Potência de curto-círcuito:

$$\frac{750 \times 100}{5} = 15.000 \text{ kVA}$$

b) Corrente de curto-círcuito:

$$I_{\text{curto-circuito}} = \frac{1.000 \times \text{kVA}}{E \times \sqrt{3}}$$

$$= \frac{1.000 \times 15.000}{380 \times \sqrt{3}} = 22.790 \text{ A ou } 22,8 \text{ kA}$$

c) Corrente nominal absorvida em cada motor:

$$I_n = \frac{P \times 736}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{200 \times 736}{380 \times \sqrt{3} \times 0,83 \times 0,96} = 280 \text{ A}$$

Na Tabela 6.14 pode-se achar diretamente este valor para a corrente nominal, entrando com $P = 200 \text{ cv}$ e $U = 380 \text{ V}$.

d) Corrente de partida.

Admitamos que a letra-código do motor seja F e que a partida seja com tensão reduzida.

Pela Tabela 6.7, vemos que, para a letra-código F, temos:

$$\frac{\text{kVA}}{\text{cv} (\text{com rotor bloqueado})} \cong 5$$

A corrente de partida, se não fosse empregada chave compensadora, seria:

$$I_{\text{partida}} = 5 \times I_n = 5 \times 280 = 1.400 \text{ A}$$

Os dispositivos de proteção deverão ser aptos a:

- Suportar permanentemente a corrente igual a $1,25 \times I_n = 1,25 \times 280 = 350 \text{ A}$, admitindo elevação de temperatura de 40°C, ou $1,15 \times I_n$, quando esta elevação não é tolerada.
- Suportar a corrente de partida de 1.400 A durante o tempo de aceleração do motor (se fosse empregada chave compensadora). Este período depende do tipo de máquina acionada e, no caso de bombas, em geral não chega a 60 segundos. Normalmente considera-se 30 segundos para bombas médias e 20 segundos para as de pequena potência.
- Poder interromper uma corrente de 22.790 A, caso ocorra um curto-círcuito. A interrupção deverá processar-se muito rapidamente e sem que a corrente venha a atingir outros componentes, danificando-os.

Tabela 6.14 Correntes e proteções conforme a potência dos motores

Potência do motor		Corrente nominal (A)		Fusíveis retardados adequados (A)	
cv	kW	220 V	380 V	220 V	380 V
1/4	0,184	1,1	0,7	2	2
1/3	0,243	1,5	1,0	2	2
1/2	0,368	1,8	1,2	2	2
3/4	0,552	2,7	1,8	4	2
1	0,736	3,5	2,3	4	4
1,5	1,104	5,0	3,2	6	4
2	1,472	6,0	3,9	10	6
3	2,208	9,0	5,7	16	10
4	2,944	12	7,6	20	10
5	3,68	14	9,0	25	16
7,5	5,52	21	14	35	20
10	7,36	28	18	50	25
12,5	9,20	39	25	63	35
15	11,04	45	29	63	35
20	14,72	58	37	80	50
25	18,40	68	44	80	63
30	22,08	80	51	100	63
40	29,44	100	64	125	80
50	36,80	124	77	160	100
60	44,16	140	89	200	125
75	55,20	180	115	225	160
100	73,60	237	152	260	200
125	92,00	296	188	350	225
150	110,40	352	224	430	260
200	147,20	450	280	600	350
271	200,0	630	365	—	—
340	250,0	770	445	—	—
435	320,0	975	570	—	—
545	400,0	—	715	—	—
680	500,0	—	890	—	—

A capacidade que os equipamentos de proteção possuem de proteger contra o curto-círcuito chama-se *capacidade de ruptura* dos mesmos.

Os fusíveis NH, da Siemens, têm uma capacidade de ruptura de 100.000 A (100 kA), e os tipos Diazed, 10.000 A (10 kA).

Se usássemos, como proteção do ramal de cada motor, fusíveis comuns (que já insistimos que não são convenientes) e não fosse usada chave compensadora, estes teriam:

$$I = 5 \times I_n = 5 \times 280 = 1.400 \text{ A}$$

Se fossem aplicados fusíveis de ação retardada tipo NH, por exemplo, poderíamos adotar um dos seguintes procedimentos, considerando o emprego de chave compensadora de partida:

1. Usar a Tabela 6.14 que dá, para motor de indução de 200 cv, 380 V e corrente nominal de 280 A, fusíveis retardados de 350 ampères.
2. Usar o gráfico da Fig. 6.21, da Siemens. Entrando-se com a corrente máxima de partida, e considerando um tempo de fusão de t segundos, obtém-se, na curva, o fusível NH requerido.

Se empregássemos disjuntores, utilizaríamos a Tabela 6.12 e obteríamos para 200 cv ajustagem do elemento temporizado em 348 A, correspondente a $1,25 \times I_n$.

Consideremos a Tabela 6.13, da NBR 5.410, para cotejarmos os valores com os que acabamos de calcular. Os fatores a aplicar à corrente de plena carga do motor de gaiola, letra-código F, usando autotransformador, seriam:

- Usando fusível NH, fator = 1,75.

Teríamos para o valor máximo da corrente do fusível $1,75 \times 280 = 490$ A.

- Usando disjuntor, fator = 2,00.

Portanto, a ajustagem máxima do dispositivo de proteção será de $2,00 \times 280 = 560$ A.

Vemos que os valores encontrados diferem bastante dos obtidos empregando dados dos fabricantes, o que se explica por que a Tabela 6.14 refere-se a valores máximos.

Para o disjuntor geral correspondente do alimentador dos três motores $3 \times 200 = 600$ cv, considerando que cada motor parte isoladamente, teremos corrente nominal total de:

$$I_n = 3 \times 280 \text{ A} = 840 \text{ A}$$

Se houvesse apenas um motor, o disjuntor, como vimos, seria calibrado para 348 A. Ao partir o segundo motor, a corrente já está normalizada para o primeiro motor, em 280 A, de modo que teríamos uma corrente no alimentador de:

$$280 + 348 = 628 \text{ A}$$

Na partida do terceiro motor, a corrente para os dois primeiros já será de $2 \times 280 = 560$ A, de modo que teremos:

$$560 + 348 = 908 \text{ A}$$

Usaríamos, pois, um disjuntor geral de 1.000 A, calibrando-o para 900 A, aproximadamente.

■ Exemplo 6.10

Um ramal de alimentação serve a quatro motores de indução, trifásicos, operando em 220 V, sendo um de 15 cv, letra-código C, com elevação permitida de temperatura de 40°C; um de 10 cv, sem letra-código, sem elevação de temperatura; um de 7,5 cv, com letra-código A, com elevação de temperatura; um de 5 cv, com letra-código A, com elevação de temperatura. Determinar as correntes, as capacidades dos disjuntores e sua calibragem.

Solução

a) Correntes nominais (Tabela 6.14, da FICAP), para 220 V:

- 15 cv (11,04 kW) — 45 A
- 10 cv (7,36 kW) — 28 A
- 7,5 cv (5,52 kW) — 21 A
- 5 cv (3,68 kW) — 14 A

b) Correntes dos ramais para cálculo dos cabos:

- $1,25 \times 45 \text{ A} = 56,25 \text{ A}$
- $1,25 \times 28 \text{ A} = 35,00 \text{ A}$
- $1,25 \times 21 \text{ A} = 26,25 \text{ A}$
- $1,25 \times 14 \text{ A} = 17,50 \text{ A}$

c) Corrente a ser atendida com a calibragem do dispositivo de proteção. (Tabela 6.14)

- fusíveis NH — Tabela 6.14.

- 15 cv — 63 A
- 10 cv — 50 A
- 7,5 cv — 35 A
- 5 cv — 25 A

- Calibragem do disjuntor (chave magnética), segundo a Tabela 6.11.

- 15 cv — 50 A, ou $1,25 \times 45 = 56,25 \text{ A}$ (elevação de temperatura de 40°C)
- 10 cv — 34 A, ou $1,15 \times 28 = 32,20 \text{ A}$ (sem elevação de temperatura)
- 7,5 cv — 27,5 A, ou $1,25 \times 21 = 26,25 \text{ A}$ (elevação de temperatura de 40°C)
- 5 cv — 18,7 A, ou $1,25 \times 14 = 17,5 \text{ A}$ (com elevação de temperatura)

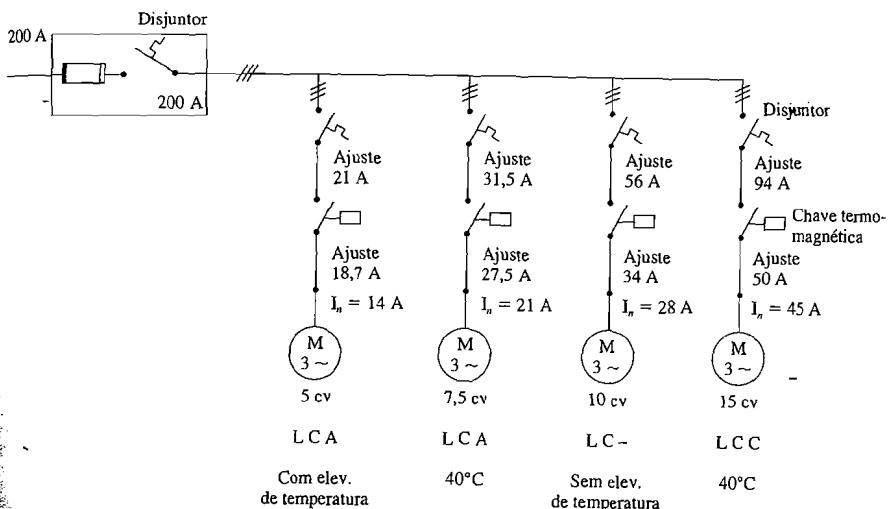


Fig. 6.24 Determinação de um ramal de alimentação que serve a quatro motores, conforme esquema

d) Correntes a considerar na proteção dos ramais, isto é, na calibragem dos dispositivos de proteção, segundo a Tabela 6.10:

- | | |
|--------------------------|--|
| 15 cv — letra-código C | — 200%: $2,0 \times 45 \text{ A} = 90 \text{ A}$ |
| 10 cv — sem letra-código | — 200%: $2,0 \times 28 \text{ A} = 56 \text{ A}$ |
| 7,5 cv — letra-código A | — 150%: $1,5 \times 21 \text{ A} = 31,5 \text{ A}$ |
| 5 cv — letra-código A | — 150%: $1,5 \times 14 \text{ A} = 21 \text{ A}$ |

e) Proteção do alimentador geral.

Podemos simplesmente considerar o disjuntor com capacidade correspondente à soma das correntes dos ramais, isto é:

$$I_{\text{total}} = 90 + 56 + 31,5 + 21 = 198,5 \text{ A}$$

O disjuntor seria de 200 A.

Usando a Tabela 6.11 teríamos, para os fusíveis do ramal alimentador:

15 cv	—	200%	—	$I = 80 \text{ A}$
10 cv	—	200%	—	$I = 60 \text{ A}$
7,5 cv	—	150%	—	$I = 35 \text{ A}$
5 cv	—	150%	—	$I = 25 \text{ A}$

Capacidade do fusível = 200 A

Tubulações Telefônicas — Seqüência Básica para Elaboração do Projeto

Extraordinário progresso marcou a área de telecomunicações nos últimos anos, em nosso país. É inconcebível uma edificação que não esteja preparada para receber os seus benefícios. Documentos de duas fontes foram utilizados na elaboração deste capítulo.

- Sistema de Práticas TELEBRÁS (Telecomunicações Brasileiras S.A.)
N.º 235-510-602 - Tubulações
Emissão: 1.º - Ago - 1985.
N.º 235-510-601 - RJ. Cabeação
Emissão: 1.º - Nov - 1985.
- Normas aprovadas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).
I - Redes telefônicas internas em prédios. NBR 13300/MAR 1995. Terminologia.
II - Redes telefônicas internas em prédios. NBR 13301/MAR 1995. Símbologia.
III - Redes telefônicas internas em prédios — Tubulação de entrada telefônica — Projeto. NBR 13726/OUT 1996.
IV - Redes telefônicas internas em prédios — Plantas/partes componentes de projeto de tubulação telefônica. NBR 13727/OUT 1996.
V - Redes telefônicas em edifícios com até cinco pontos telefônicos — Projeto. NBR 13822/MAIO 1997.

7.1 INTRODUÇÃO

As etapas básicas para a elaboração de projetos e execução de tubulações e caixas definidas a seguir, aplicam-se a qualquer tipo de prédio, independentemente do uso que o mesmo se destina. Aplicam-se, também, a conjuntos de edificações situadas dentro de um mesmo terreno, como vilas, condomínios, loteamentos especiais e edifícios constituídos por vários blocos.

7.2 TUBULAÇÃO SECUNDÁRIA

É a tubulação destinada à instalação da fiação telefônica interna do prédio. Com auxílios positivos auxiliares, instalam-se *caixas de distribuição* (caixa destinada à instalação de blocos terminais para conexão de fios telefônicos internos), em seu percurso, para ligar a fiação.

Determinam-se o número e os locais onde deverão ser instaladas as *caixas de saída* (caixa destinada a dar passagem ou permitir a saída de fios de distribuição dos aparelhos telefônicos), em cada parte do edifício (apartamento, loja, escritórios), de acordo com os critérios estabelecidos na Tabela 7.1, para os diferentes tipos de prédios, incluindo:

caso existam, a portaria, o apartamento do zelador, o salão de festas e demais dependências.

Determina-se, dentro de cada parte do edifício, o local onde ficarão as caixas de saída (sala, copa ou cozinha, quartos, lojas, escritórios) e a *caixa de saída principal*, que será interligada com a *caixa de distribuição* que atende ao andar. A caixa de saída principal deve ser localizada próxima à *caixa de distribuição*, e esta, nas partes comuns do prédio (Fig. 7.1).

Em caso de edifício comercial, se a mesma entidade ocupa o andar inteiro, é suficiente que a caixa de distribuição fique em local próprio às partes comuns, dentro da própria sala.

7.2.1 PREVISÃO DE PONTOS DE TELEFONE

O número e a localização dos pontos de telefone são estabelecidos com base na Tabela 7.1.

7.2.2 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES, TRAJETOS E DIÂMETROS

Determina-se o trajeto da tubulação dentro de cada parte do edifício de modo a interligar todas as caixas de saída, projetando caixas de passagem, se estas forem necessárias, para limitar os comprimentos da tubulação e/ou o número de curvas.

Este trajeto deve ser o menor caminho possível entre as caixas, com o objetivo de economizar material, ou seja, fazer com que a ligação seja mais econômica com o mesmo resultado.

- Determinam-se o diâmetro dos tubos e as dimensões das caixas pertencentes à tubulação secundária utilizando os valores indicados nas Tabelas 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 e 7.6.
- Em edifícios comerciais onde existam áreas de escritórios com mais de 10 caixas de saída (100 m^2) devem ser utilizados sistemas de distribuição em malha no piso ou sistemas em canaletas, para a interligação das caixas ou saídas à caixa de saída principal (Figs. 7.6, 7.7 e 7.8).

Tabela 7.1 Critérios para a previsão dos pontos telefônicos

Tipos de prédios	Número mínimo de pontos telefônicos
Residências ou apartamentos	Até 2 quartos — 1 ponto telefônico. Até 3 quartos — 2 pontos telefônicos. 4 quartos ou mais — 3 pontos telefônicos.
Lojas	1 ponto telefônico/ 50 m^2 .
Escritórios	1 ponto telefônico/ 10 m^2 .
Indústrias	Área de escritórios: 1 ponto telefônico/ 10 m^2 . Área de produção: Estudos especiais a critério do proprietário.
Cinemas, teatros, supermercados, depósitos, armazéns, hotéis e outros	Devem ser feitos estudos especiais, em conjunto com a concessionária local, respeitando os limites estabelecidos nos critérios anteriores.
Habitações populares de baixa renda	1 ponto telefônico.

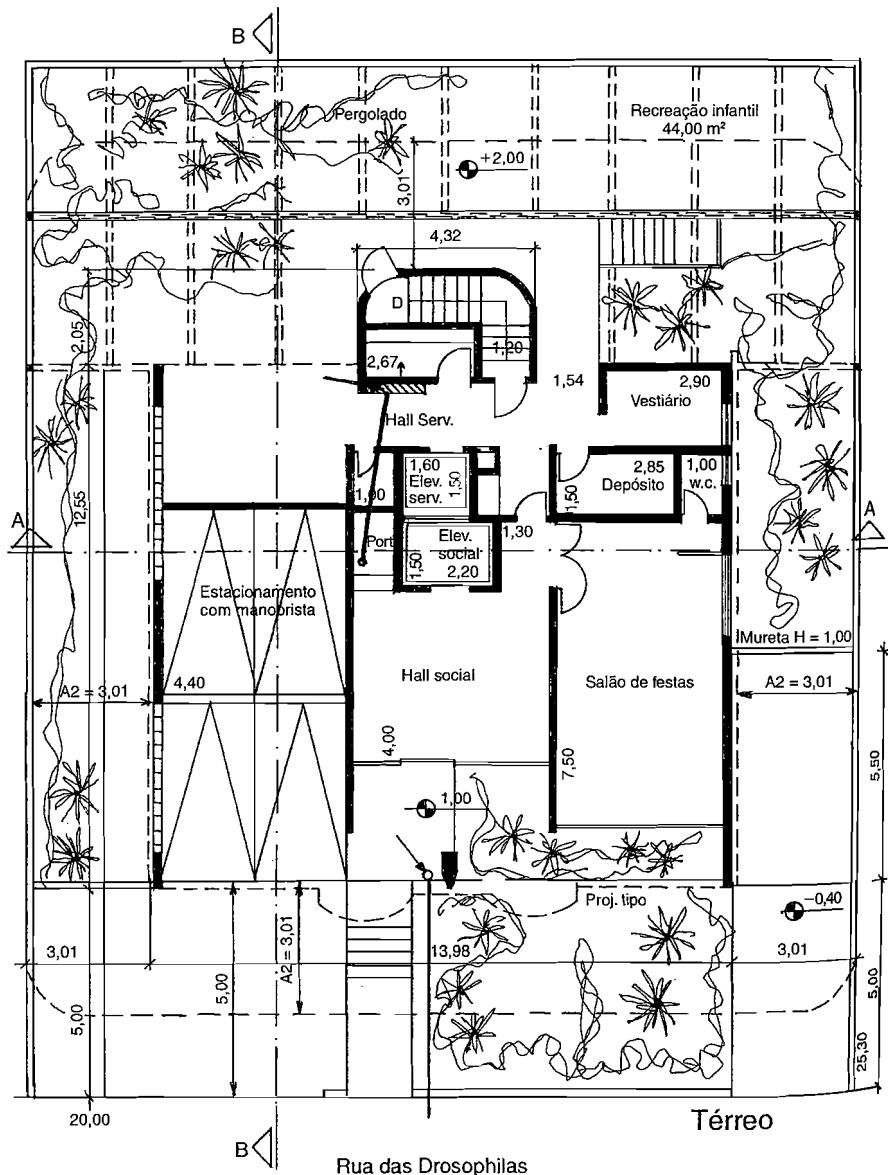


Fig. 7.1 Exemplo de plantas baixas de distribuição residencial, tubulação secundária

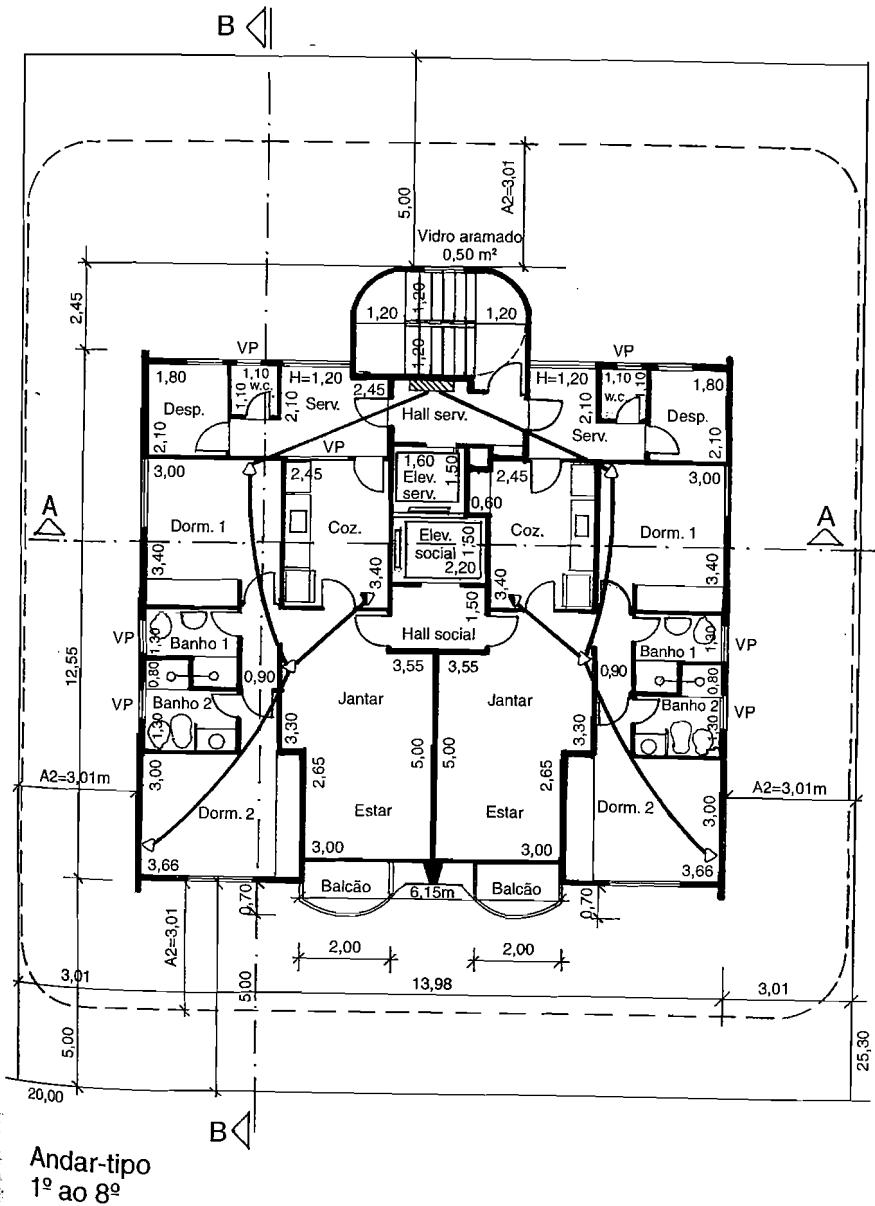


Fig. 7.1b.

Tabela 7.2 Dimensionamento das tubulações primárias e secundárias

Número de pontos acumulados na seção	Diâmetro interno mínimo dos tubos (mm)	Quantidade mínima de tubos
Até 5	19	1
de 6 a 21	25	1
de 22 a 35	38	1
de 36 a 140	50	2
de 141 a 280	75	2
Acima de 280	Usar poço de elevação	

Tabela 7.3 Dimensões de caixas em função do número de pontos telefônicos

Caixas	Dimensões internas mínimas cm			Quantidade de pontos telefônicos acumulados
	Altura	Largura	Profundidade	
Para tomada e/ou passagem	N.º 0	10	5	5
	N.º 1	10	10	5
De distribuição	N.º 2	20	20	7
De entrada		20	15	7
		30	20	7
3 a 5				

Nota: As dimensões das caixas n.º 0 e n.º 1 devem estar de acordo com a NBR 5431.

Tabela 7.4 Dimensionamento das caixas internas

Pontos acumulados na caixa	Caixa de distribuição geral *	Caixa de distribuição	Caixa de passagem
Até 5	n.º 3	—	n.º 2
De 6 a 21	n.º 4	n.º 3	n.º 3
De 22 a 35	n.º 5	n.º 4	n.º 3
De 36 a 70	n.º 6	n.º 5	n.º 4
De 71 a 140	n.º 7	n.º 6	n.º 5
De 141 a 280	n.º 8	n.º 7	n.º 6
Acima de 280	Sala p/ a distr. geral e poço de elevação		

*Tratando-se de caixa para DG, a profundidade desta deve ser de no mínimo 15 cm.

Tabela 7.5 Dimensões padronizadas para as caixas internas

Caixas	Dimensões internas		Profundidade (cm)
	Altura (cm)	Largura (cm)	
n.º 1	10	10	5,0
n.º 2	20	20	13,5
n.º 3	40	40	13,5
n.º 4	60	60	13,5
n.º 5	80	80	13,5
n.º 6	120	120	13,5
n.º 7	150	150	16,8
n.º 8	200	200	21,8

Tabela 7.6 Dimensionamento de tubulações de entrada telefônica subterrânea

Número de pontos telefônicos acumulados	Diâmetro interno mínimo do(s) eletroduto(s) mm	Quantidade mínima de eletrodutos
6 a 21	50	1
22 a 70	75	1
71 a 420	75	2
421 a 840	100	3

Nota: Acima de 840 pontos, o dimensionamento é feito em conjunto com a Concessionária do Serviço de Telecomunicações.

7.2.3 CRITÉRIOS A SEREM SEGUIDOS NOS DIVERSOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

SISTEMA EMMALHA DE PISO COM TUBULAÇÃO CONVENCIONAL (Fig. 7.3)

- O espaçamento máximo entre os eletrodutos que constituem a malha deve ser de três metros. É, no entanto, conveniente usar o espaçamento de 1,5 m, para dar maior flexibilidade ao uso da malha de piso.
- Os itens de distribuição em malha no piso e de canaletas só poderão ser usados em andares inteiramente ocupados pela mesma empresa. Em caso contrário, o projeto será elaborado tratando cada sala como se fosse um projeto residencial, de acordo com a Fig. 7.4.
- Os eletrodutos situados nas proximidades da caixa de distribuição devem ter diâmetros internos maiores que 25 mm, para não estrangularem o tubo de alimentação da malha.

SISTEMA PARALELO DE CANALETAS DE PISO (Fig. 7.6)

- O espaçamento mínimo entre as canaletas paralelas para telefones deve ser de 1,5 m e, no máximo, de 3 m. As dimensões das canaletas a serem utilizadas podem ser determinadas adotando-se 1 cm² de área no corte transversal da canaleta para cada 1,5 m² de área a ser determinada. Esta regra é baseada na ocupação

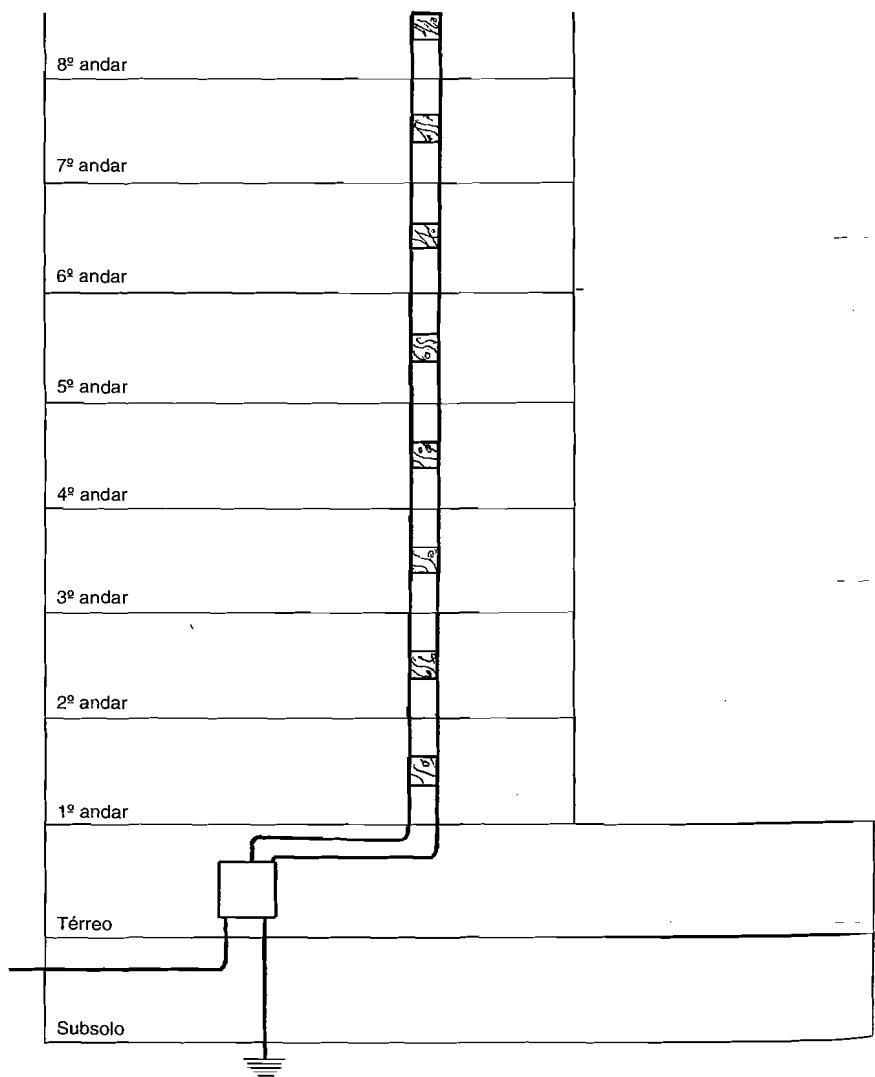


Fig. 7.2 Exemplo de um esquemático vertical de um prédio com prumada telefônica.

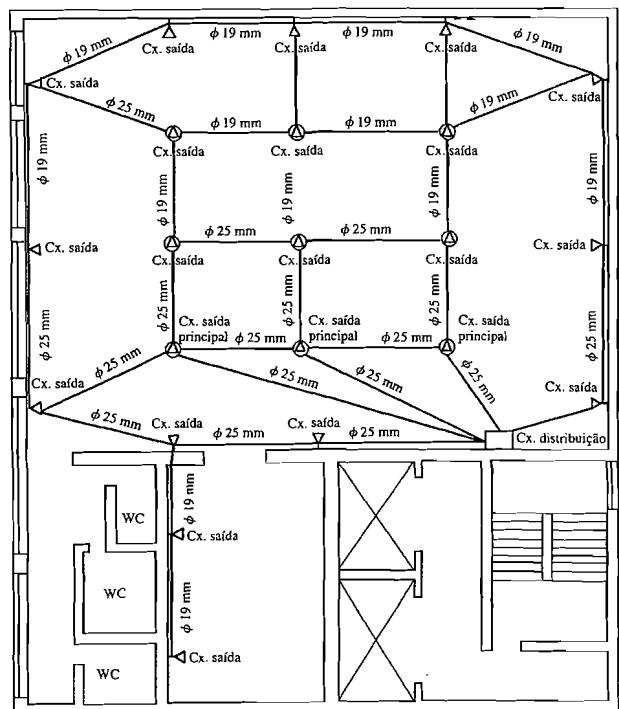


Fig. 7.3 Exemplo de planta baixa de distribuição comercial convencional em malha de piso

média de áreas de escritórios e nas necessidades médias de serviço telefônico para estes espaços.

- Devem ser previstas caixas de junção, cada qual correspondendo a uma caixa de saída. Como regra geral, o espaçamento entre as caixas de junção deve ser de 1,20 m.
- Se forem utilizadas *canaletas de alimentação*, estas podem ser dimensionadas adotando-se 0,5 cm² de área no corte transversal da canaleta para cada caixa de saída a ser atendida pela mesma.

SISTEMA EM “PENTE” DE CANALETAS DE PISO (Fig. 7.7)

- O sistema em “pente” de canaletas de piso consiste em vários condutos derivados a 90° e do mesmo lado de um conduto de alimentação. Pode ser usado onde houver necessidade de estabelecer a distribuição de eletricidade e telefones num pavimento, sem aumentar demasiadamente a espessura do piso.
- Nos condutos derivados, como regra geral, devem ser adotados 2 cm² de área transversal da canaleta para cada 1,5 m² de área a ser atendida. Na canaleta de alimentação deve ser adotado 1 cm² de área da seção transversal da mesma para cada caixa de saída a ser atendida por um mesmo conduto derivado.
- Deverá também ser apresentado, no projeto de tubulações telefônicas, um corte longitudinal do conjunto, com cotas verticais.

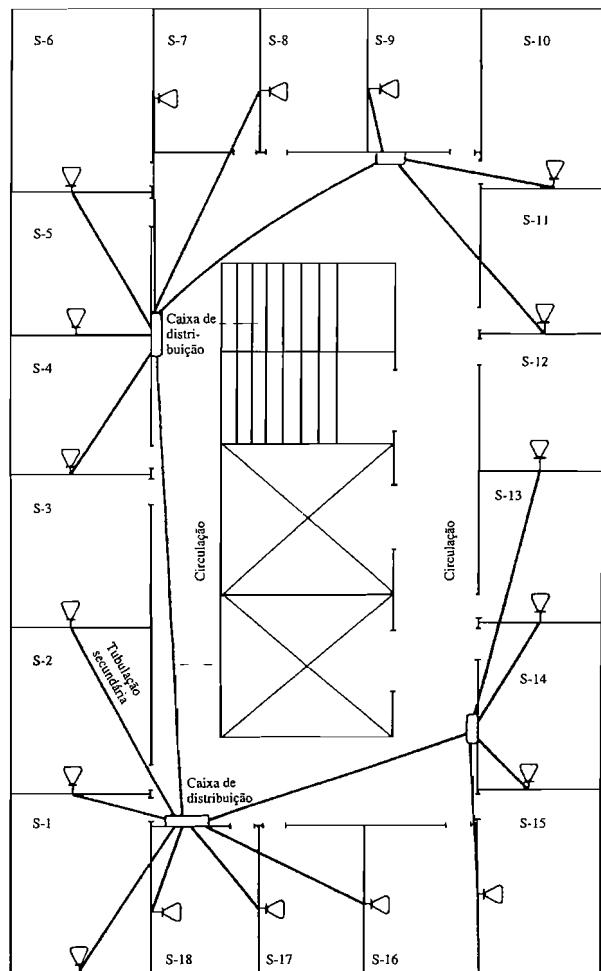


Fig. 7.4 Exemplo de tubulação para prédios comerciais com mais de uma firma por andar

SISTEMA EM "ESPINHA DE PEIXE" DE CANALETAS DE PISO (Fig. 7.8)

- Este sistema constitui-se num tipo particular de sistema de distribuição em "penete", no qual os condutores derivam a 90° de ambos os lados de um conduto de alimentação central.
- O dimensionamento das canaletas deste sistema deve seguir as mesmas regras do sistema anterior.
 - O eletroduto de alimentação deve ser sempre perpendicular à canaleta a qual ele deve alimentar, qualquer que seja o sistema de canaleta.
 - A marcação dos pontos telefônicos deve obedecer sempre ao recomendado na Tabela 7.1.

Descrição	Em planta	Em elevação
Caixa de saída ou de passagem para fios, na parede, a 30 cm do centro ao piso	N.º 1 ou 2	
Caixa de saída ou de passagem para fios, na parede, a 1,30 m do centro ao piso	N.º 1 ou 2	N.º 1, 2, 3...8
Caixa de distribuição ou de passagem para cabos, na parede		
Caixa de distribuição geral	D.G.	N.º D.G.
Sala de distribuição geral	D.G.	D.G.
Cubículo em poço de elevação		
Caixa subterrânea para emenda ou passagem de cabos (pisos)		
Caixa de saída ou de passagem, para fios no piso	▽	
Tubulação desce	↙	↙
Tubulação sobe	↗	↗
Tubulação	No piso No teto	
Sumário de contagem a) pontos por andar b) pontos acumulados no andar		(a) (b)
Extensão	Na parede	
	No piso	◐
Tubulação já existente	No piso No teto	
Postes		
Existente	○	✗
Projetado	●	✗
Retirar	☒	✗
Substituir	○	✗
Redispor	3m RD	3m RD

Fig. 7.5 Simbologia padronizada dos desenhos

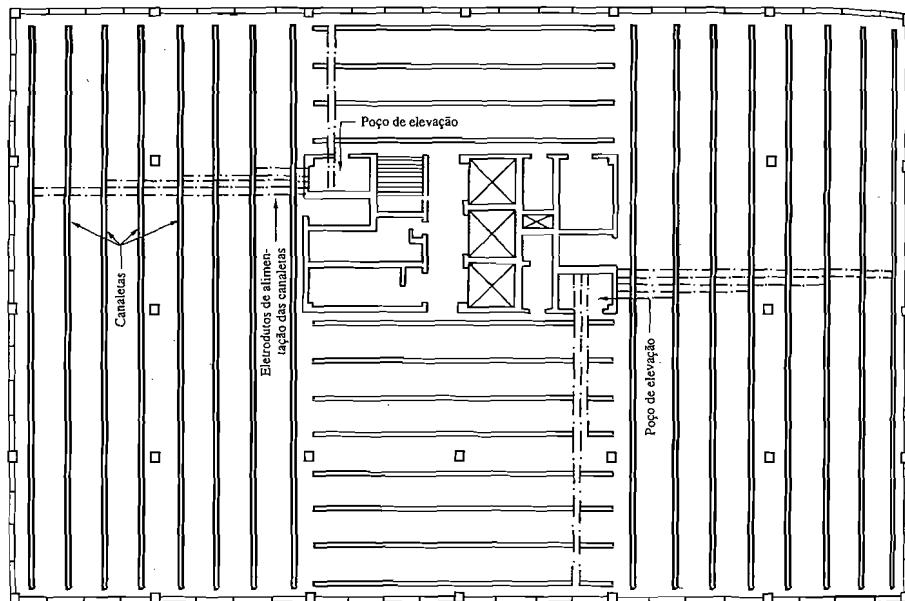


Fig. 7.6 Sistema paralelo de canaletas de piso

Depois de elaborado o projeto da tubulação secundária, deve ser elaborado o projeto da tubulação primária.

7.3 TUBULAÇÃO PRIMÁRIA

É a parte da tubulação que abrange a caixa de distribuição geral, as caixas de distribuição e as tubulações que as interligam.

- Determina-se o número de prumadas necessárias ao edifício. O número de prumadas necessárias pode ser maior do que um, em função dos seguintes critérios:
 - Existência de obstáculos intransponíveis no trajeto da tubulação vertical.
 - Concepções arquitetônicas que estabeleçam blocos separados sobre a mesma base.
 - Edifícios que possuam várias entradas, com áreas de circulação independentes.
- Calcula-se o número de pontos telefônicos (não incluir as extensões) de cada andar, atendidos através de uma mesma prumada. Calcula-se em seguida o número total de pontos telefônicos atendidos por aquela prumada somando-se os valores encontrados para cada andar.
- Se o número total de pontos telefônicos, atendidos por uma mesma prumada, for igual ou inferior a 280, e se o construtor decidir executar a prumada em tubulação convencional, devem-se localizar as caixas de distribuição e a caixa de distribuição geral do edifício sempre em áreas comuns, em função dos critérios descritos a seguir.

CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO GERAL

- A caixa, obrigatoriamente, deverá estar localizada no andar térreo.

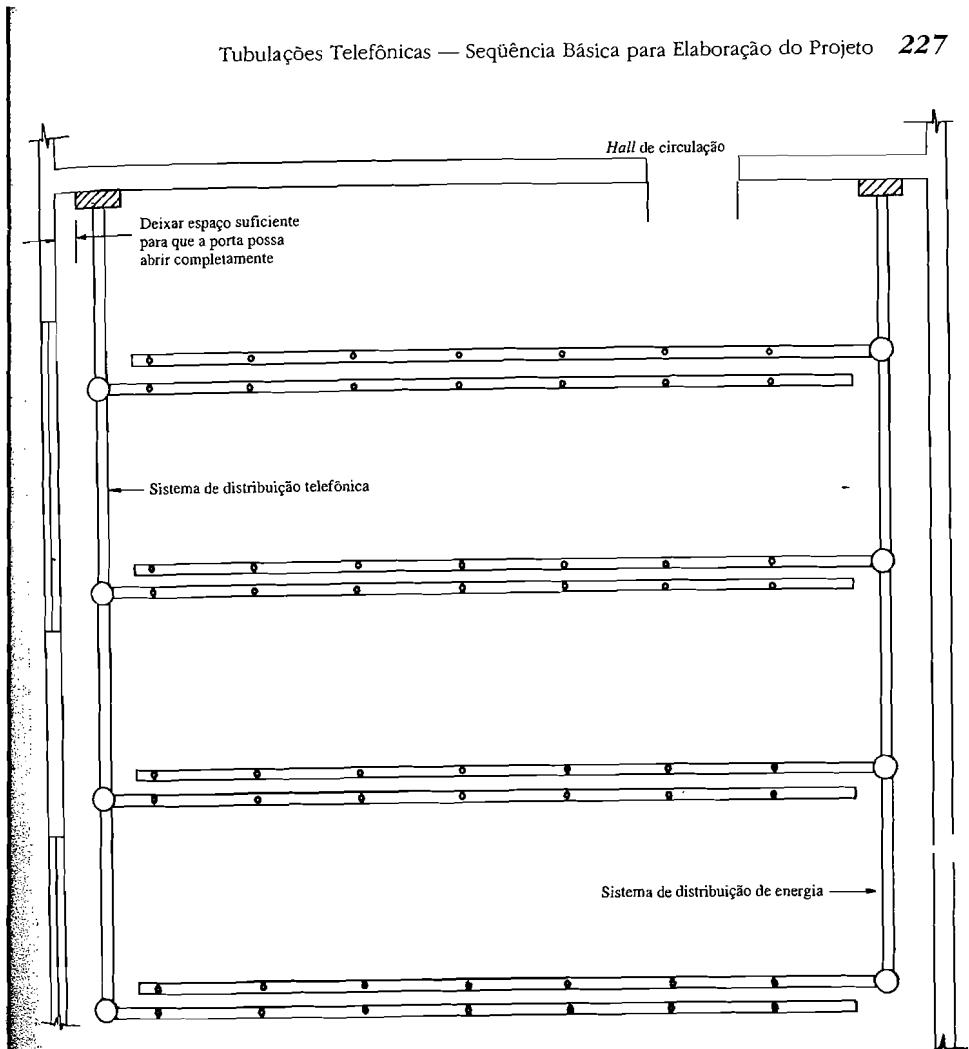


Fig. 7.7 Sistema em "pente" de canaletas de piso

- A caixa não deve ser localizada dentro de salões de festas ou em outras áreas que possam acarretar dificuldades de acesso à mesma.

CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO

- A Tabela 7.7 pode ser usada como guia para determinação da localização das caixas. Porém, em casos especiais e de real necessidade devido a peculiaridades do edifício para o qual a tubulação está sendo projetada, o esquema de distribuição das caixas poderá diferir do indicado na Tabela 7.7.
- Nos edifícios onde a numeração dos andares começar pelo térreo, a Tabela 7.7 deve ser adaptada, para ficar de acordo com a numeração existente. Neste caso, a designação "térreo" deve ser substituída por "1.º andar", e deve-se acrescentar um andar aos demais.

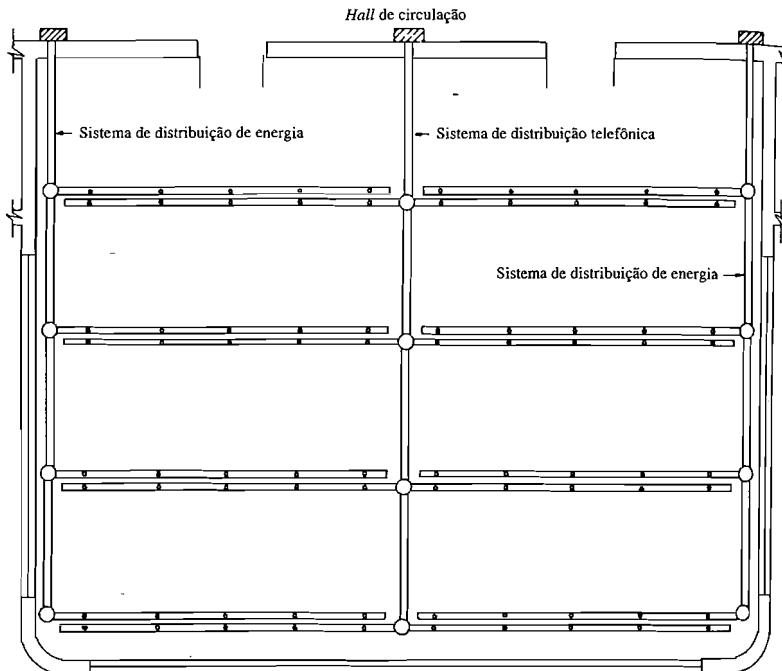


Fig. 7.8 Sistema em “espinha de peixe” de canaletas de piso

No caso de haver andares ocupados por *playground*, garagem, salão de festas, os mesmos não serão contados como andares para colocação de caixas de distribuição.

Os telefones designados pelo construtor para estes andares serão atendidos por caixas de outros andares.

c) Como regra geral, cada caixa de distribuição deve atender a um andar abaixo e um acima daquele em que estiver localizada, salvo as últimas caixas das prumadas, que poderão atender até dois andares para cima.

Para a escolha das caixas de distribuição, pode-se seguir o seguinte roteiro:

- Calcula-se o número total de pontos telefônicos acumulados em cada trecho da tubulação e, em seguida, o número de pontos atendidos por cada caixa de distribuição que alimenta um ou mais andares.

- Calcula-se o número total de pontos telefônicos acumulados em cada caixa de distribuição, começando pela mais distante e terminando na caixa de distribuição geral.

- Determinam-se as dimensões das caixas e a quantidade e diâmetro dos tubos que as interligam, aplicando os valores das Tabelas 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 e 7.6.

Se o número total de pontos telefônicos, atendidos por uma mesma prumada, for superior a 280, ou se o construtor assim o decidir, independentemente do número destes, devem ser projetados um ou mais *poços de elevação*, observando os critérios estabelecidos nos itens seguintes:

- Projetam-se cubículos de distribuição em todos os andares. Como regra geral, cada cubículo de distribuição atenderá apenas ao andar no qual estiver localizado.

Tabela 7.7 Esquema de localização das caixas de distribuição

N.º de andares	Andares										
	térreo	2.º	5.º	8.º	11.º	14.º	17.º	20.º	23.º	26.º	29.º
Até 2	x										
3 a 4	x	x									
5 a 7	x	x	x								
8 a 10	x	x	x	x							
11 a 13	x	x	x	x	x						
14 a 16	x	x	x	x	x	x					
17 a 19	x	x	x	x	x	x	x				
20 a 22	x	x	x	x	x	x	x	x			
23 a 25	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
26 a 28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
29 a 31	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Andares sup.											

- Calcula-se o número total de pontos telefônicos acumulados em cada trecho da tubulação e verifica-se o número de pontos em cada cubículo de distribuição.

Se o edifício possuir um mínimo de pontos telefônicos superior a 280 ou mais de um poço de elevação, deve ser projetada uma *sala* para o distribuidor geral (D.G.) do mesmo.

7.4 TUBULAÇÃO DE ENTRADA

É a parte da tubulação que permite a entrada do cabo da rede externa da concessionária e que termina na caixa de distribuição geral. Abrange também a caixa de entrada (ligação subterrânea).

O primeiro passo para a elaboração da tubulação de entrada é definir se o cabo de entrada do edifício será subterrâneo ou aéreo. Os seguintes critérios devem ser observados nesta definição:

- A entrada será *subterrânea* quando:
 - a) O edifício possuir mais do que 21 pontos telefônicos.
 - b) A rede da Concessionária for subterrânea, no local da obra.
 - c) O construtor preferir a entrada subterrânea, por motivos estéticos. Neste caso, o construtor deve consultar a Concessionária para saber a viabilidade técnica do projeto.
- A entrada será *aérea* quando: o edifício possuir 21 pontos telefônicos ou menos, e as condições da rede da Concessionária, no local, o permitirem.
- Os dados referentes à rede da Concessionária no local devem ser obtidos pelo projetista ou construtor junto àquela entidade. As seguintes informações devem ser prestadas pela Concessionária ao construtor:

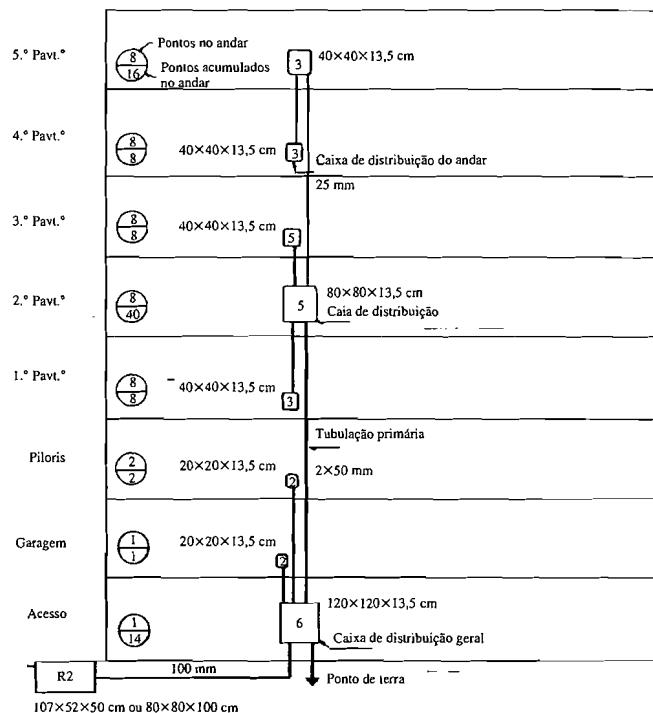


Fig. 7.9 Corte esquemático (diagrama vertical) das tubulações de entrada e primária

- a) Se a rede no local é aérea ou subterrânea.
- b) De que lado da rua passam os cabos, no caso de o edifício se situar em mais de uma rua. No caso de o edifício estar localizado numa só rua, o construtor deverá projetar uma caixa de entrada no alinhamento, e a Concessionária se encarregará de ligá-la à rede.
- c) Se há ou não previsão de alteração da rede no local (passagem de aérea para subterrânea ou remanejamento da rede).
- Se o cabo de entrada do edifício for subterrâneo, os seguintes passos devem ser seguidos:
 - 1 — Locar uma caixa subterrânea para o atendimento do edifício, de dimensões determinadas conforme a Tabela 7.8, no limite do alinhamento predial. Esta caixa não deve ser localizada em pontos onde transitem veículos (como entradas de garagens, por exemplo).
 - 2 — Determinar o trajeto da tubulação de entrada, desde a caixa de entrada do edifício até a caixa de distribuição geral, projetando-se caixas de passagem intermediárias, se estas forem necessárias, para limitar o comprimento da tubulação. As caixas subterrâneas intermediárias devem ser localizadas e dimensionadas de acordo com os critérios estabelecidos no item anterior.
 - 3 — Dimensionar a tubulação de entrada, aplicando-se a Tabela 7.6.
- Se o cabo de entrada do edifício for aéreo, os seguintes passos devem ser seguidos na elaboração do projeto:
 - 1 — Entrada direta pela fachada:

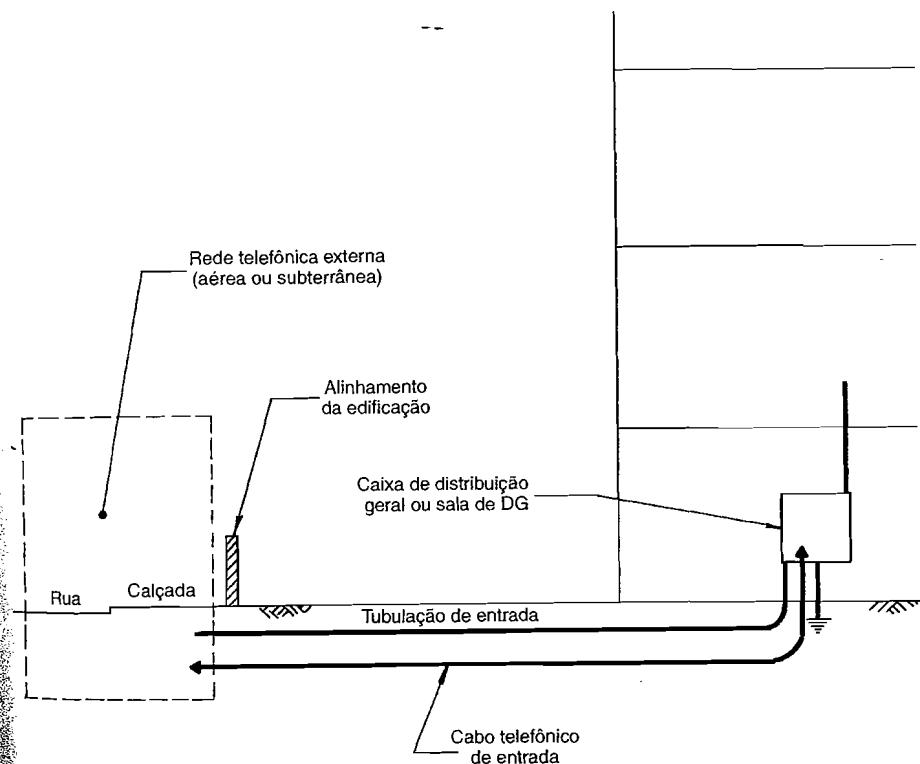


Fig. 7.10 Exemplo esquemático de entrada telefônica subterrânea em prédio

- a) Localizar a posição exata em que a tubulação de entrada sairá na fachada do edifício, em função dos elementos estabelecidos na Tabela 7.9.
- b) A entrada deve ser localizada de forma que o cabo telefônico não cruce com linhas de energia elétrica.

Os seguintes afastamentos mínimos devem ser observados entre o cabo telefônico de entrada e os cabos de energia elétrica que alimentam o edifício:

Tabela 7.8 Dimensionamento da caixa de entrada do edifício

Número total de pontos do edifício	Tipo de caixa	Dimensões internas		
		Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
Até 35	R1	60	35	50
De 36 a 140	R2*	107	52	50
De 141 a 420	R3**	120	120	130
Acima de 420	I**	215	130	180

*Caso não seja encontrado o tampão para esta caixa, usar a caixa de dimensões 80 x 80 x 100 (cm).

**Gargalo com 50 cm.

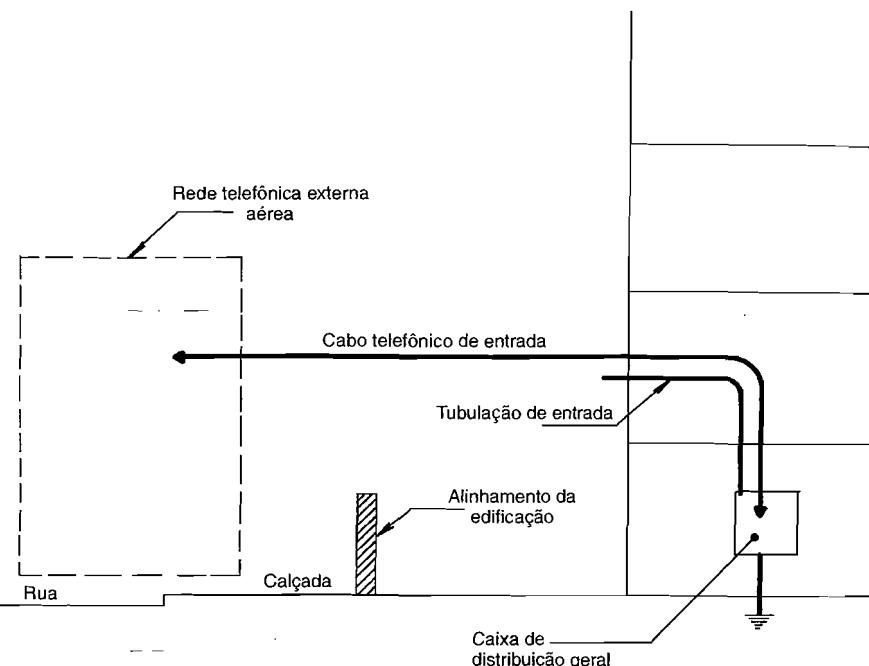


Fig. 7.11 Exemplo esquemático de entrada telefônica aérea em prédio

- Cabos de alta tensão: 2,00 m.
 - Cabos de baixa tensão: 0,60 m.
- O cabo telefônico deve ficar no mesmo plano ou num plano inferior ao cabo de energia elétrica.

Tabela 7.9 Alturas mínimas para a entrada de cabos aéreos

Situações típicas de entradas aéreas	Altura mínima da ferragem com relação ao passeio (m)	Altura mínima do eletroduto de entrada com relação ao passeio (m)
Cabo aéreo do mesmo lado do edifício	3,50	3,00
Cabo aéreo do outro lado da rua	6,00	3,00
Edifício em nível inferior ao do passeio	Estudo conjunto com a Concessionária	

Obs.: Exetuando-se quando se trata de travessias de rodovias estaduais ou federais, cujo estudo deve ser feito em conjunto com a Concessionária.

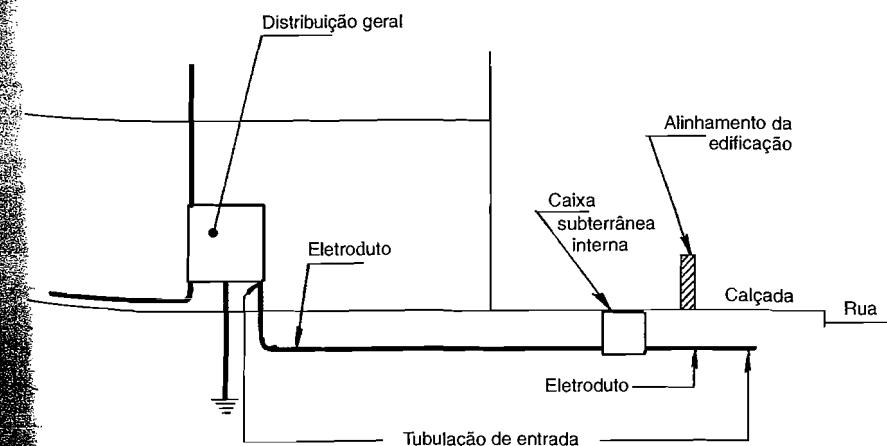
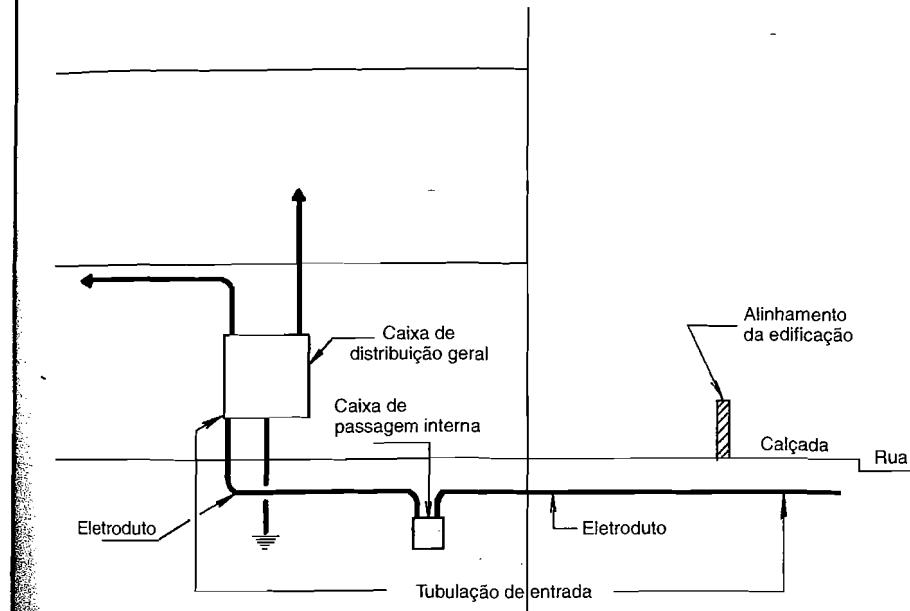


Fig. 7.12 Exemplos esquemáticos de caixas de passagem internas em lances de tubulação de entrada telefônica

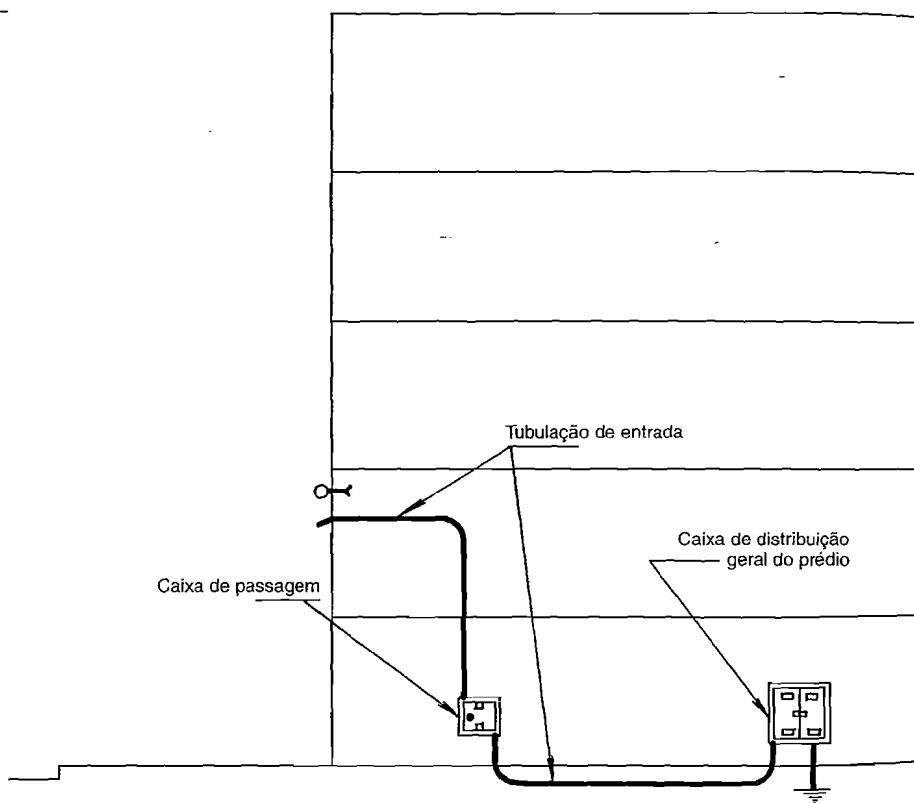


Fig. 7.13 Exemplo de caixa de passagem em lance de entrada telefônica aérea

O cabo de entrada não deve, ainda, atravessar terrenos de terceiros e deve ser colocado em posição tal que não possa ser facilmente alcançado pelos ocupantes do edifício.

- c) Determinar o trajeto de tubulação de entrada, desde o ponto determinado na fachada até a caixa de distribuição geral, projetando caixas de passagem, se estas forem necessárias, para limitar o comprimento da tubulação.

Tabela 7.10 Dimensionamento de tubulações de entrada telefônica aérea

Número de pontos telefônicos acumulados	Diâmetro interno mínimo de eletroduto
6 e 7	38 mm
De 8 a 21	50 mm
Acima de 21	Entrada subterrânea ou consulta à Concessionária

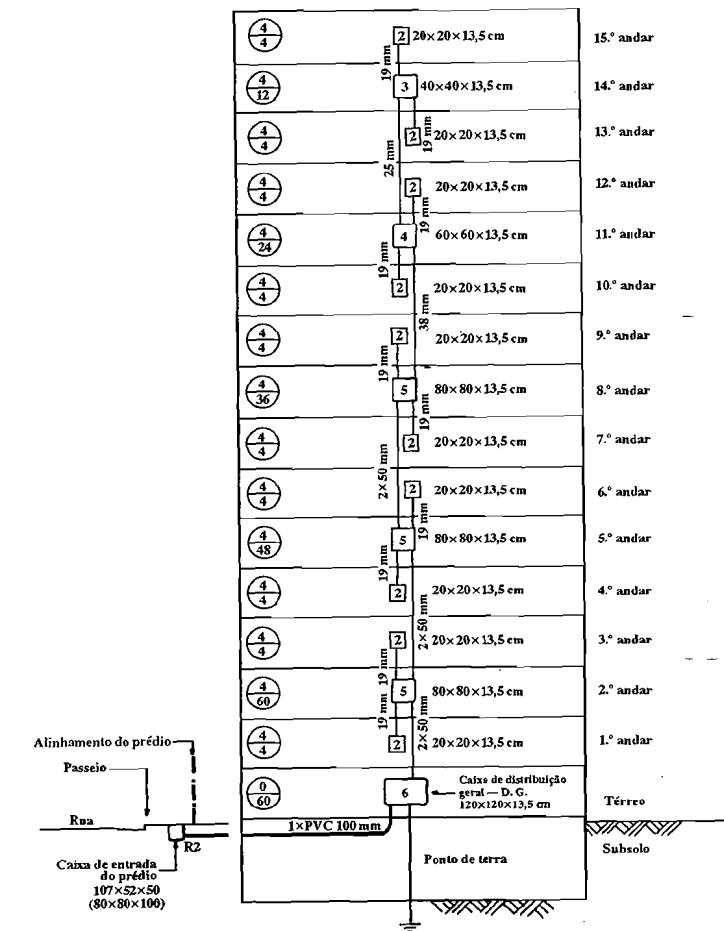


Fig. 7.14 Corte esquemático das tubulações de entrada e primária.

- d) Dimensionar a tubulação de entrada, aplicando-se a Tabela 7.6.
 2 — Entrada através de um poste de acesso:
 a) Determinar o trajeto das tubulações de entrada, desde o poste de acesso do edifício até a caixa de distribuição geral, projetando caixas de passagem, se estas forem necessárias, para limitar o comprimento da tubulação e/ou o número de curvas, conforme os critérios estabelecidos no item referente às curvas.
 b) Dimensionar a tubulação de entrada, aplicando-se a Tabela 7.6.
 c) Se o edifício não possuir altura suficiente para atender aos valores estabelecidos na Tabela 7.9, a Concessionária deve ser consultada para determinar, junto com o construtor, a melhor forma de proceder à ligação do edifício à rede externa.

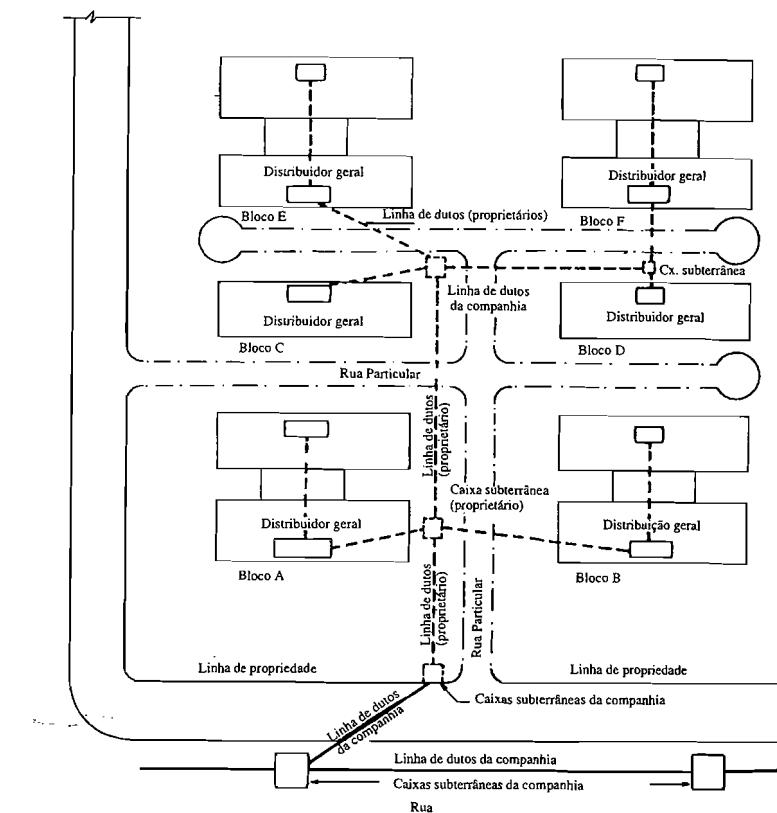


Fig. 7.15 Conjunto de prédios com arruamentos particulares internos, com dois blocos em cada conjunto

CRITÉRIO DE CURVAS. DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS TUBULAÇÕES EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE CURVAS EXISTENTES

Os comprimentos dos lances de tubulação são limitados para facilitar a enfiamento do cabo telefônico no tubo. O fator que limita o comprimento das tubulações, porém, é o número de curvas existentes entre as caixas.

As curvas, admitidas nos lances de tubulação, devem obedecer aos seguintes critérios:

- As curvas não podem ser reversas.
 - O número máximo de curvas que pode existir é *dois*.
- Os comprimentos máximos admitidos para as tubulações primária e secundária, ou para as tubulações de entrada no caso de cabos aéreos, dimensionados conforme a Tabela 7.2, são os seguintes:
 - Trechos retilíneos*: até 15 metros para tubulações verticais e 30 metros para tubulações horizontais.
 - Trechos com uma curva*: até 12 metros para tubulações verticais e 24 metros para tubulações horizontais.
 - Trechos com duas curvas*: até nove metros para tubulações verticais e 18 metros para tubulações horizontais.

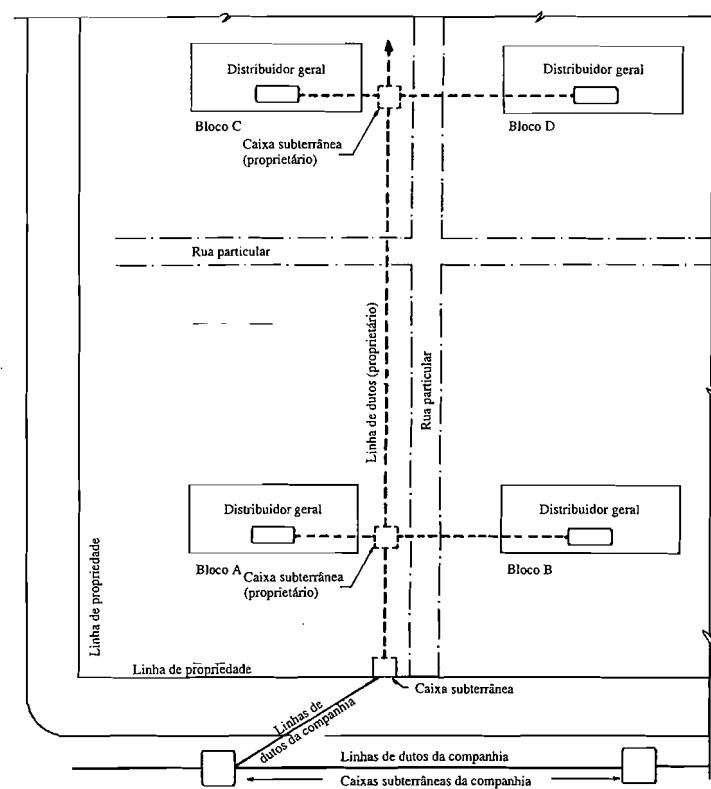


Fig. 7.16 Conjunto de prédios com arruamentos particulares internos

- Os comprimentos máximos admitidos para tubulações de entrada subterrânea, dimensionadas conforme a Tabela 7.6, são os seguintes:

- Trechos retilíneos*: até 60 metros para tubulações horizontais.
- Trechos com uma curva*: até 50 metros para tubulações horizontais.
- Trechos com duas curvas*: até 40 metros para tubulações horizontais.

7.5 EDIFÍCIOS CONSTITUÍDOS DE VÁRIOS BLOCOS

Nos edifícios constituídos de vários blocos, a tubulação de entrada deve ser ligada a uma única caixa de distribuição geral ou sala de distribuidor geral, pertencente a um dos blocos, se o endereço for o mesmo. No caso de cada bloco possuir um endereço, cada um terá uma caixa de distribuição geral ou sala de distribuidor geral.

As caixas de distribuição dos demais blocos devem ser interligadas à caixa ou sala que deu acesso aos cabos da rede externa.

Esta caixa de distribuição geral ou sala de distribuidor geral é interligada à rede externa. Deve ser dimensionada pelo somatório total dos pontos telefônicos previstos para os vários blocos, acumulados nela. Para o dimensionamento das caixas, deve ser utilizada a Tabela 7.4. Em caso de dimensionamento de sala, consultar a Concessionária.

NBR 13822: 1997

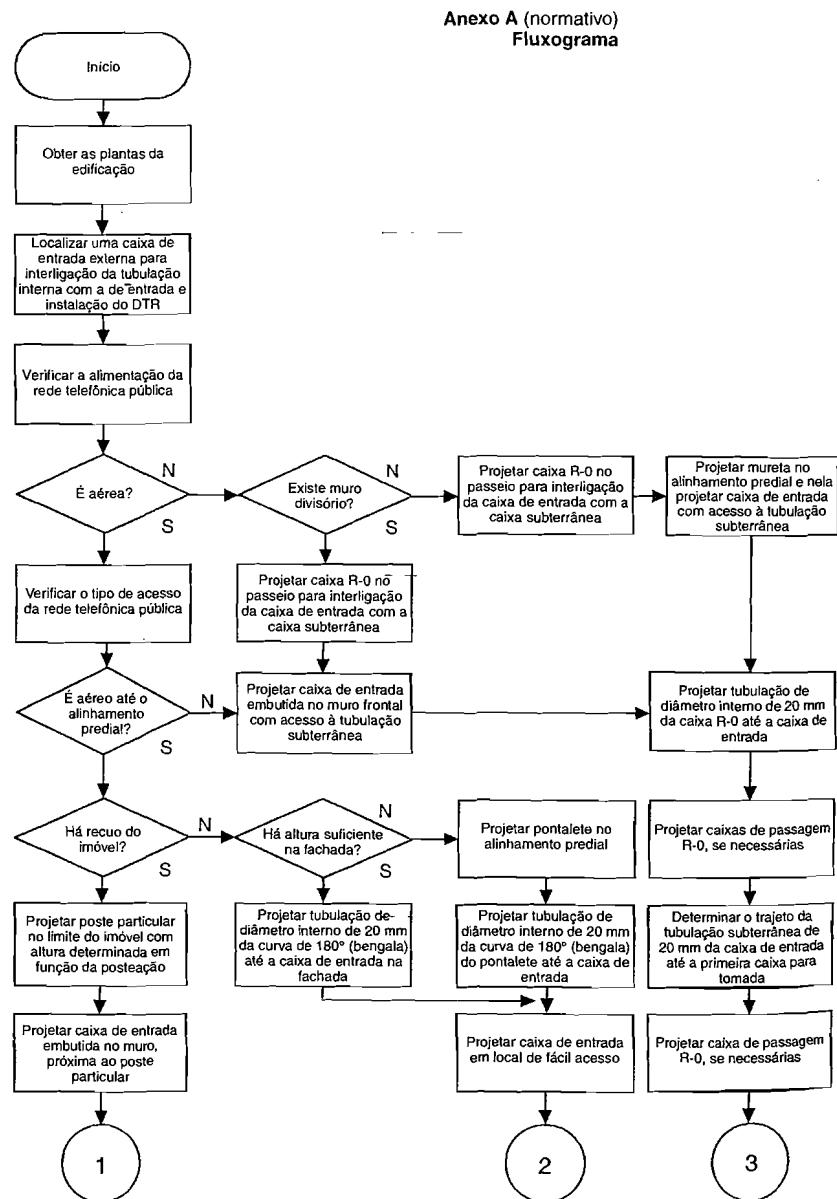


Fig. 7.17(a) Fluxograma

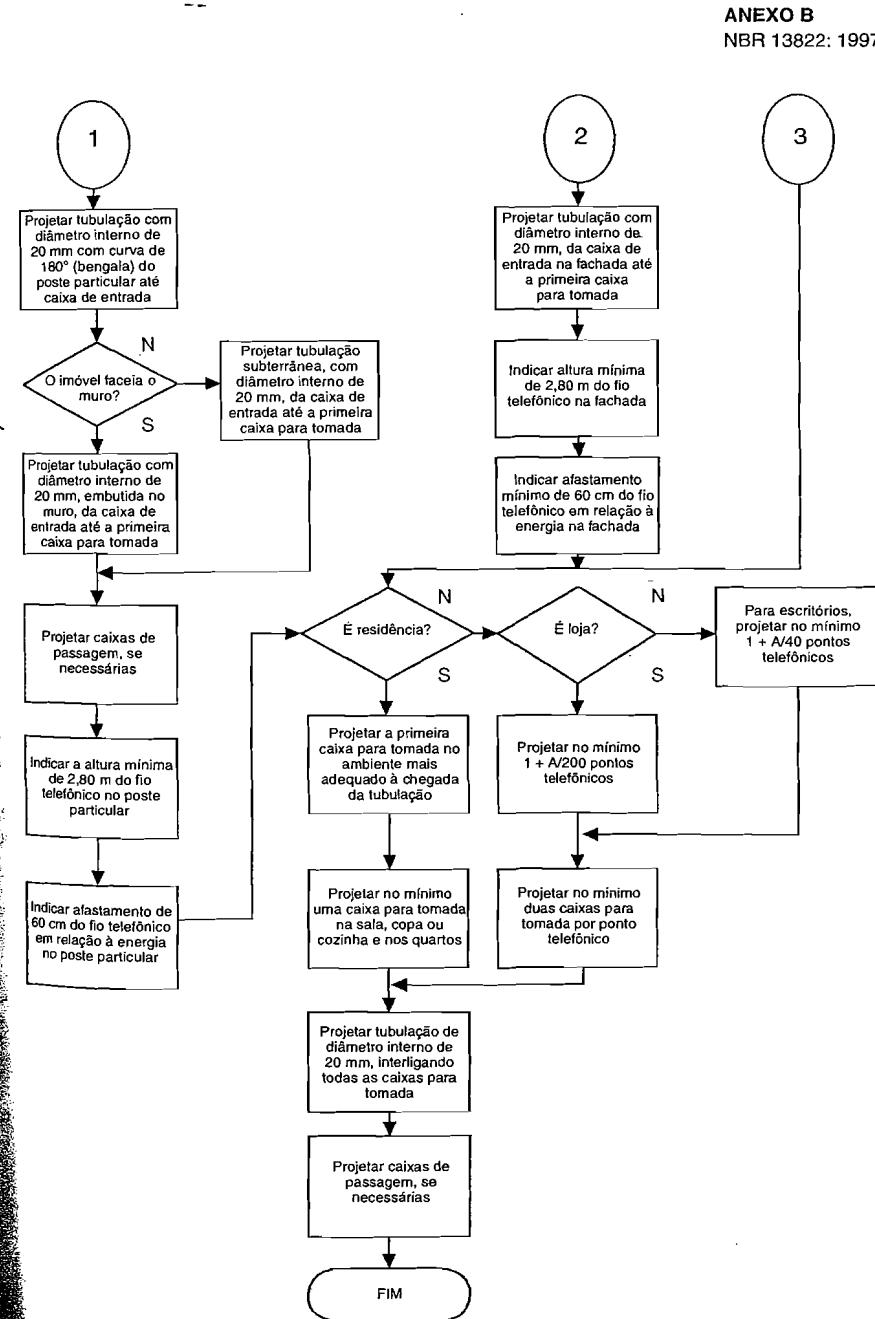


Fig. 7.17(b)

As tubulações de interligação das demais caixas de distribuição à caixa ou sala principal devem ser dimensionadas de acordo com a Tabela 7.6, projetando-se caixas de passagem. Se estas forem necessárias, é preciso limitar os comprimentos das tubulações e/ou eliminar curvas, conforme os critérios estabelecidos no item sobre curvas, deste capítulo.

O mesmo critério se aplica para os cabos de edificações separadas ou vários prédios isolados, dentro de um mesmo terreno.

Em conclusão, apresentamos na Fig. 7.17 o fluxograma simplificado das rotinas adotadas para a aprovação do projeto e a obtenção do certificado de aprovação das instalações de tubulações telefônicas.

7.6 PRIVATIZAÇÕES DO SISTEMA DE TELEFONIA

O sistema Telebrás foi privatizado pelo governo brasileiro na intenção de introduzir a competição no mercado nacional de telecomunicações. A Telebrás consistia em uma grande holding debaixo da qual existiam diversas operadoras regionais de telefonia fixa responsáveis pelos diversos estados brasileiros, bem como uma operadora de longa distância, a Embratel. No processo de privatização, ocorrido em julho de 1998, a operação da Telebrás foi dividida em diversas áreas de concessão, a saber:

- Longa Distância Nacional (todo o território brasileiro): 1 empresa
- Operadoras locais de telefonia fixa: 3 empresas

Num segundo momento, a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), que é o órgão regulador deste setor, criado em 1997, abriu uma licitação para a concessão de operação de empresas-“espelho”, que viriam a competir com as operadoras originadas na cisão da Telebrás. Isso levou o número de operadoras a duplicar (2 de longa distância e 6 fixas). O duopólio se dará até o final de 2002, quando haverá a liberalização total do setor, significando que qualquer companhia poderá oferecer serviços de telefonia na área que escolher.

Atualmente, já estão em operação cinco operadoras fixas. Com esse novo cenário competitivo, o usuário ganha o poder de escolha da operadora de sua preferência, o que deverá ser ditado pela qualidade dos serviços oferecidos, bem como pelos preços das tarifas, que tendem a ser reduzidos com o tempo.

Com a explosão tecnológica na área de telecomunicações, devemos dotar, cada vez mais, os nossos projetos de facilidades (tubulações e caixas) para absorverem essas mudanças.

8

Luminotécnica

8.1 CONCEITOS E GRANDEZAS FUNDAMENTAIS

No Cap. 3, vimos como, numa primeira aproximação, podemos indicar os pontos de luz em recintos convencionais. Existem, porém, muitos ambientes interiores e locais exteriores que exigem uma iluminação compatível com a utilização dos mesmos. Isto exige do projetista a elaboração de um estudo para o qual são necessários conhecimentos básicos de luminotécnica. A escolha da modalidade de iluminação, dos tipos de lâmpadas e luminárias, sua potência, quantidade, localização, distribuição, comando e controle acham-se indiscutivelmente unidos ao projeto de instalações elétricas, o que justifica a ênfase dada ao assunto neste livro.

Nas considerações teóricas básicas e preliminares, serão definidas grandezas e estabelecidos conceitos, utilizando ao máximo o que se encontra na NBR 5.461/91 — Iluminação — Terminologia, e NBR 5.413/92 — Iluminação de Interiores, além do Inmetro — Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade, no que se refere às unidades empregadas.

LUZ

É uma modalidade da energia radiante que um observador verifica pela sensação visual de claridade determinada no estímulo da retina, sob a ação da radiação, no processo de percepção sensorial visual.

A faixa de radiações das ondas eletromagnéticas detectada pelo olho humano se situa entre 380 e 780 nanômetros [$1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m} = 10\text{ \AA}$ (\AAngstr\"oms^*)], correspondendo o menor valor ao limite dos raios ultravioleta, e o maior, ao dos raios infravermelhos.

As cores são determinadas pela reação do mecanismo de percepção sensorial aos diversos comprimentos de onda. A Fig. 8.1 mostra que a maior sensibilidade do olho hu-

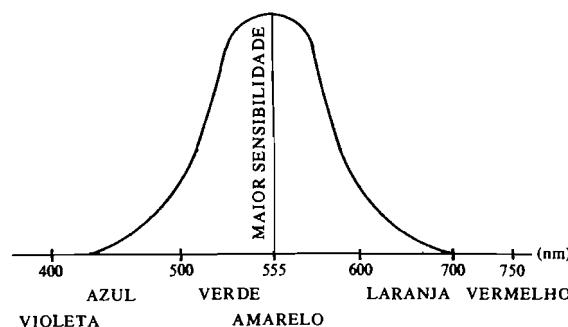


Fig. 8.1 Sensibilidade do olho humano ao espectro luminoso, supondo a mesma intensidade de radiação

*ÅNGSTRÖM (Anders Jones), físico sueco (1814-1874).

mano, como captor de sensações que são transmitidas ao cérebro, ocorre para o amarelo-esverdeado, correspondendo ao comprimento de onda de 555 nm.

A sensação psicofisiológica produzida pelas radiações visíveis traduz-se por uma impressão subjetiva de luminosidade e uma impressão de cor, as quais somente um processo de abstração mental poderá separar e avaliar.

FLUXO LUMINOSO (ϕ)

É a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz e capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular. Em outras palavras, é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. A unidade é o lumen (lm).

As lâmpadas, conforme seu tipo e potência, apresentam fluxos luminosos com diversas eficiências (eficiência equivale à razão do fluxo luminoso emitido sobre a potência consumida pela fonte. Unidade: lm·W⁻¹).

Tabela 8.1 Exemplos de eficiência luminosa

Lâmpada	Potência W	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm·W ⁻¹)
Incandescente	100	1.380	13,8
Fluorescente	40	3.000	75,0
Multivapores			
Metálicos	2.000	190.000	95,0

INTENSIDADE LUMINOSA (I)

Uma fonte luminosa em geral não emite igual potência luminosa em todas as direções. A potência de radiação luminosa numa dada direção denomina-se intensidade luminosa. Ela é a razão do fluxo luminoso (ϕ) que sai da fonte e se propaga no elemento de ângulo sólido (ver Fig. 8.2), cujo eixo coincide com a direção considerada para esse elemento de ângulo sólido. A grandeza assim obtida é medida em candelas (cd), cuja expressão podemos representar:

$$I = \frac{\phi}{\omega}, \quad \omega \rightarrow \text{ângulo sólido} \quad 8.1$$

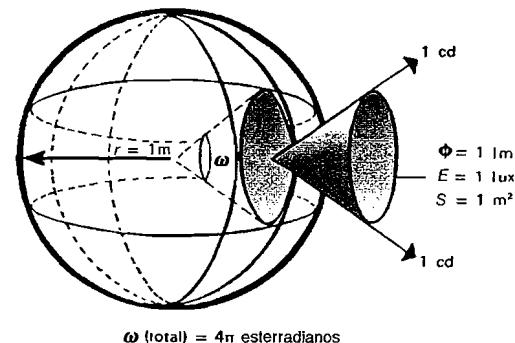


Fig. 8.2 Um esterradiano é o ângulo sólido ω correspondente à área $S = 1 \text{ m}^2$, em uma esfera de raio $r = 1 \text{ m}$

O lumen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido, segundo um sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e igual a 1 candela.

Ângulo sólido. Suponhamos uma esfera de raio unitário e, na superfície desta esfera, uma área, também unitária.

O ângulo denominado ângulo sólido ω , tendo por vértice o centro da esfera e que é limitado pelo contorno da área unitária na superfície da esfera, vem a ser um esterradiano (sr).

■ Exemplo 8.1

Se uma fonte luminosa, localizada no centro da esfera de raio unitário, irradiar a mesma intensidade luminosa de $I = 1 \text{ cd}$, cada metro quadrado da superfície da esfera receberá um fluxo luminoso de $\phi = 1 \text{ lm}$. Qual será o fluxo luminoso que incidirá sobre a esfera toda?

Solução

Como a superfície S da esfera é igual a $4\pi \times r^2$, e r é igual a 1 m, $S = 12,56 \text{ m}^2$.

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^2 &= 1 \text{ lm} \\ 12,56 \text{ m}^2 &= \phi \\ \phi &= 12,56 \text{ lm} \end{aligned}$$

Os fabricantes, em seus catálogos, apresentam a curva de distribuição da intensidade luminosa. Trata-se de um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou a luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama, em que se representa a intensidade luminosa nas várias direções por vetores, partindo do centro do diagrama. A curva obtida ligando-se as extremidades desses vetores é a curva de distribuição da intensidade luminosa (Fig. 8.3).

Costuma-se, na representação polar, referir os valores de intensidade luminosa, constantes, ao fluxo de 1.000 lm. Se o fluxo luminoso da lâmpada for diferente desse valor, multiplica-se o valor obtido no gráfico pelo fator correspondente.

Por exemplo, se o fluxo luminoso da lâmpada for de 1.380 lm, o fator será $1.380 \div 1.000 = 1,38$.

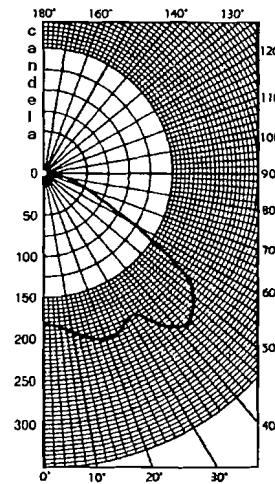
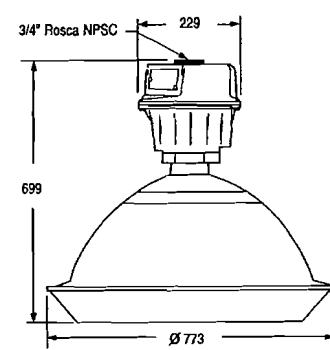


Fig. 8.3 Luminária industrial da General Electric do Brasil, UNIMOUNT LUMINAIRE

No caso da Fig. 8.3, na vertical a intensidade luminosa é cerca de 180 cd para um fluxo de 1.000 lm. A lâmpada de 400 W tem um fluxo vertical de 36.000 lm (multivapor clara). Logo, a intensidade luminosa a 0° (vertical) será de: $(36.000 \div 1.000) \times 180 = 6.480$ cd.

Tabela 8.2 Valores de intensidade luminosa (Osram do Brasil)

Lâmpada e luminária	Intensidade luminosa
Lâmpada incandescente de 100 W perpendicular ao eixo da lâmpada	110 cd
Lâmpada fluorescente de 40 W perpendicular ao eixo da lâmpada	180, ..., 300 cd/1.000 lm (conforme a cor)
Projetor com refletor pintado	250 cd/1.000 lm*
Projetor com refletor espelhado	700 cd/1.000 lm*
Holofofe	até 10 ⁶ cd/1.000 lm*

*Na direção principal de radiação.

ILUMINÂNCIA (E)

Suponhamos que o fluxo luminoso incida sobre uma superfície. A relação entre este fluxo e a superfície sobre a qual incide denomina-se *iluminância*. Esta iluminância média vem a ser, portanto, a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. O Inmetro denomina essa grandeza de *iluminamento*.

A unidade de iluminância é o *lux* (lx), definido como a iluminância de uma superfície de 1 m² recebendo de uma fonte puntiforme, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen uniformemente distribuído.

$$E = \frac{\phi}{S} \quad \text{lux} = \frac{\text{lúmen}}{\text{metro quadrado}} \quad 8.2$$

Em países de língua inglesa, adota-se o *footcandle* como unidade de iluminância. Vem a ser a iluminância de um pé quadrado recebendo um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído.

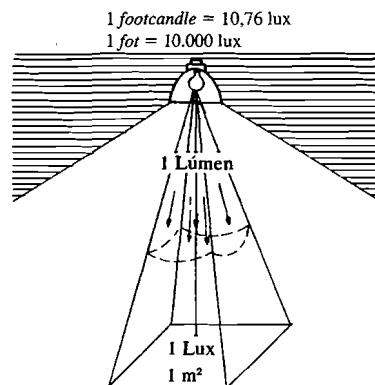


Fig. 8.4 Unidade de iluminância

A iluminância calculada por $E = \frac{\phi}{S}$ corresponde, na prática, ao valor médio, porquê o fluxo luminoso não se distribui uniformemente sobre a superfície.

Além da iluminância média, às vezes se considera a iluminância num ponto da superfície iluminada. Esta consideração pode ser feita quando a fonte de luz é *puntual*, isto é, de dimensões muito pequenas em comparação com a distância à superfície, e não se aplica a aparelhos grandes ou a superfícies de luminária e tetos luminosos.

A iluminância em um ponto A da superfície, afastada do forro luminoso de uma distância d, é dada por

$$E = \text{Iluminância} = \frac{I}{d^2} = \frac{\text{Intensidade luminosa}}{\text{Distância ao quadrado}} \quad 8.3$$

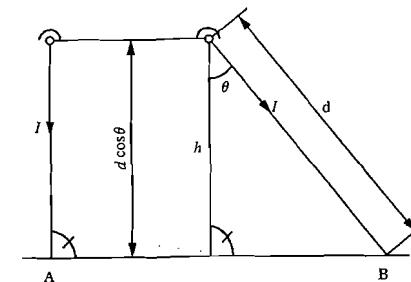


Fig. 8.5 Iluminância puntual

Se a incidência da luz for oblíqua, a iluminância no ponto B, como se vê na Fig. 8.5, é calculada por

$$E = \frac{I}{d^2} \times \cos \theta = \frac{I}{h^2} \times \cos^3 \theta \quad 8.4$$

A Tabela 8.3 indica algumas iluminâncias.

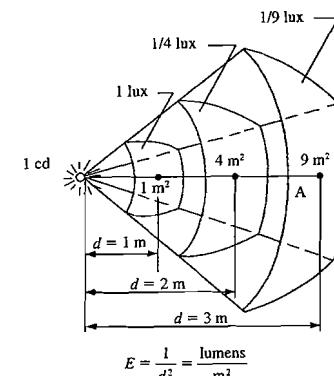


Fig. 8.6 Lei da iluminância

Tabela 8.3 Alguns exemplos de iluminância

Dia ensolarado de verão em local aberto	$\approx 100.000 \text{ lx}$
Dia encoberto de verão	$\approx 20.000 \text{ lx}$
Dia escuro de inverno	$\approx 3.000 \text{ lx}$
Boa iluminação de trabalho interno	$\approx 1.000 \text{ lx}$
Boa iluminação de rua	$\approx 20 - 40 \text{ lx}$
Noite de lua cheia	$\approx 0,25 \text{ lx}$
Luz de estrelas	$\approx 0,01 \text{ lx}$

LUMINÂNCIA (L)

Consideremos uma superfície iluminante ou que está sendo iluminada. Um observador, ao olhar para esta superfície, terá uma sensação de maior ou menor claridade, a qual é detectada pelo olho e avaliada pelo cérebro, através dos processos de conhecimento sensitivo e intelectivo.

A medida desta sensação de claridade da superfície iluminante ou iluminada denomina-se *luminância*. Seu valor é obtido dividindo-se a *intensidade luminosa da superfície pela sua área aparente*, ou seja, pode-se defini-la como sendo a “*densidade luminosa superficial*”.

$$L = \text{Luminância} = \frac{I}{S} = \frac{\text{Intensidade luminosa}}{\text{Área de superf. iluminada ou luminosa}} \quad 8.5$$

Devemos ter o cuidado em não confundir *luminância* com o que a NBR 5.413/1992 denomina *iluminância*.

O limiar da percepção visual é igual a $\frac{10^{-5} \text{ cd}}{\text{m}^2}$.

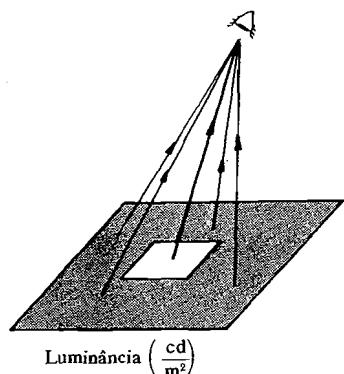


Fig. 8.7 Luminância

8.2 LÂMPADAS

As lâmpadas usadas em iluminação classificam-se em *lâmpadas incandescentes* e *lâmpadas de descarga*.

Vejamos os principais tipos de cada uma destas modalidades.

8.2.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES

Lâmpadas nas quais a emissão de luz é produzida por elemento aquecido até a incandescência, pela passagem de corrente elétrica.

Possuem um bulbo de vidro, em cujo interior existe um filamento de tungstênio, enrolado uma, duas ou três vezes, o qual, pela passagem da corrente elétrica, fica incandescente.

Para evitar que o filamento se oxide, realiza-se o vácuo no interior do bulbo, ou nele se coloca um gás inerte, em geral o nitrogênio ou o argônio. O tungstênio é um metal de ponto de fusão muito elevado (3.400°C), o que permite temperatura, no filamento, de cerca de 2.500°C .

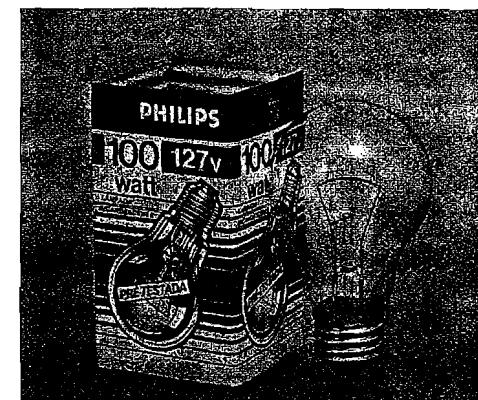


Fig. 8.8 As lâmpadas incandescentes são as mais usadas em nosso país

O bulbo, invólucro selado transparente ou translúcido que encerra o elemento luminoso de uma lâmpada, pode ser *transparente*, *translúcido* ou *opalino*, sendo este último usado para reduzir a luminância ou o ofuscamento (luminância muito intensa).

A cor da luz é branco-avermelhada. Na reprodução em cores, sobressaem as cores amarela e vermelha, ficando amortecidas as tonalidades verde e azul.

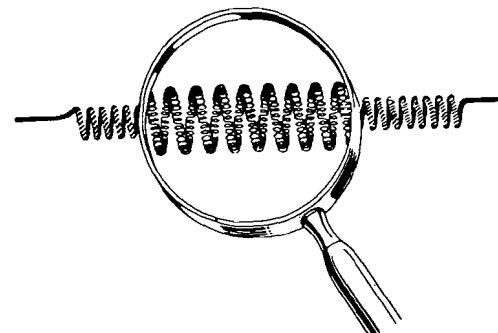


Fig. 8.9 Filamento de lâmpada incandescente

As lâmpadas incandescentes podem ser:

Comuns ou de uso geral

São empregadas em residências, lojas e locais de trabalho que não exijam índices de iluminamento elevados, e são fabricadas nas potências indicadas na Tabela 8.4.

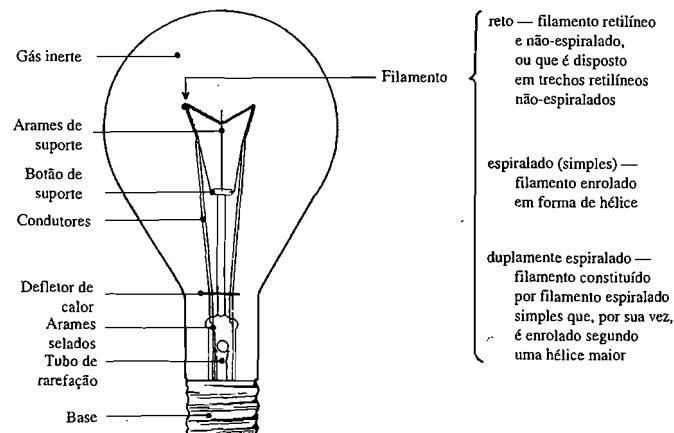


Fig. 8.10 Lâmpada incandescente comum

Tabela 8.4 Lâmpadas incandescentes para iluminação geral

Potência (watts)	Fluxo luminoso		Base	Acabamento	MCT mm	DM mm	Fabricante							
	(lumens) 127V 220V						General Electric		Philips					
	108	56					TIPO	BULBO	TIPO	BULBO				
25	235	225	E-27	Claro (transparente)	108	56	CRI	A-17	A-19	A-19				
40	455	380			108	56		A-17	A-19	A-19				
60	780	680			108	56		A-17	A-19	A-19				
100	1.470	1.295			108	56		A-17	A-19	A-19				
150	2.430	2.155			123	68		A-21	A-23	A-21				
200	2.325	2.985		CI	150	74	CI	A-23	A-25	A-23				
300	5.205	4.835			185	92		AW	PS-30	PS-30				
40	430	350						PS-30						
60	740	625	E-27	Branco interno (fosca)	102	61	ML	R-19	R-19	R-19				
100	1.365	1.195			102	61		R-19	R-19	R-19				

- CRI — cristal
- CI — comercial industrial
- ML — max-lux
- SC — standard clara
- AW — alta wattagem
- S — soft

- C — comum
- AP — alta potência
- B — bellaluz
- S — standard
- D — doméstico
- A — alvaluz

Com bulbo temperado

Funcionam ao tempo, sem necessitarem de luminária protetora.

Com bulbo de quartzo ou incandescentes halógenas

Possuem um bulbo tubular de quartzo no qual são colocados aditivos de iodo ou bromo (daí o nome de *halógenas*), que, através de uma reação cíclica, reconduzem o tungstênio volatilizado de volta ao filamento, evitando o escurecimento do bulbo. Em temperaturas próximas a 1.400°C, o halogênio (bromo ou iodo) adiciona-se ao gás contido no bulbo. Por efeito de convecção, o composto se aproxima novamente do filamento. A alta temperatura aí reinante decompe o chamado *haleta*, e parte do tungstênio deposita-se de volta no filamento.

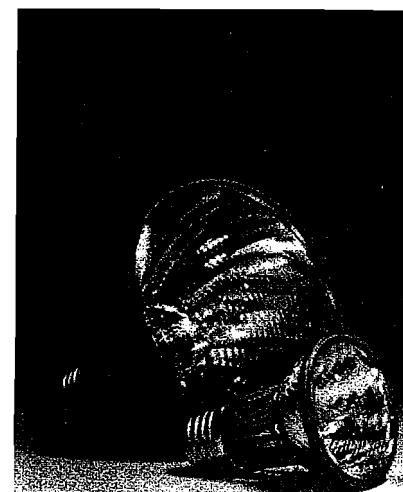


Fig. 8.11 Lâmpadas halógenas Par-Sylvania

São lâmpadas de grande potência, mais duráveis, de melhor rendimento luminoso, menores dimensões, e que reproduzem mais fielmente as cores, sendo, todavia, mais caras. Encontram aplicação na iluminação de praças de esportes, pátios de armazenamento de mercadorias e iluminação externa em geral, teatros, estúdios de TV, museus, monumentos etc. Exemplo: lâmpadas HA-HAD da Philips, de 300, 500, 1.000 e 2.000 W.

Lâmpadas incandescentes para fins específicos

Existem lâmpadas de diversos tipos, tais como:

- coloridas ornamentais;
- para faróis de veículos;
- miniaturas;
- flash fotográfico;
- usadas para espantar insetos, Sylvania — Protelux e Osram — Antiinseto.

Lâmpadas infravermelhas. Usadas em secagem de tintas, lacas, vernizes, no aquecimento em certas estufas e, também, em fisioterapia e criação de animais em climas

frios. Nunca podem, porém, ser usadas como fontes luminosas, uma vez que sua radiação se encontra na faixa de ondas caloríficas. Podem ser de bulbo ou tubulares, em quartzo. Possuem uma vida média útil de 5.000 horas.

Lâmpadas refletoras (espelhadas). São fontes de luz de alto rendimento luminoso, dimensões reduzidas e facho dirigido.

Possuem o bulbo de formatos especiais e internamente um revestimento de alumínio em parte de sua superfície, de modo a concentrar e orientar o facho de luz. Existe um tipo cuja calota do bulbo é prateada.

As lâmpadas de bulbo prateado orientam o facho luminoso no sentido de sua base e devem ser usadas com um refletor adequado que produza a reflexão da luz, proporcionando iluminação indireta.

As lâmpadas de vidro prensado podem ser usadas tanto para iluminação interna quanto externa, sem precauções especiais, devido à sua grande resistência às intempéries.

A Fig. 8.13 mostra lâmpada refletora da Osram. Vemos, na Fig. 8.14, sugestões para a instalação de lâmpadas de bulbo prateado, notando-se que a iluminação do ambiente se realiza por reflexão.

Tabela 8.5 Lâmpadas refletoras (espelhadas) Philips

Código comercial	Potência (W)	Base	Bulbo	Fluxo luminoso médio (lm)		Intensidade no centro do facho(cd)		Abertura do facho	Peso (g)
				127V	220V	127V	220V		
Comptalux Facho Médio	100	E27	R95	1.200	1.040	1.150	910	30°	58
Comptalux Facho Médio	150	E27	R95	1.830	1.670	1.587	1.560	30°	58
Comptalux Spot	60	E27	R80	660	600	850	800	30°	41
Comptalux Spot	100	E27	R80	1.230	1.135	1.100	1.080	30°	41
Mini-Spot	40	E27	R63	380	350	319	303	30°	25
Mini-Spot	60	E27	R63	650	600	575	564	30°	25
Mini-Spot Colorida	40	E27	R63	(127V ou 220V)		—	—	30°	25
Mini-Spot Ouro	60	E27	R63	(127V ou 220V)		—	—	30°	25

• Temperatura de cor em torno de 2.800 K.

• Índice de reprodução de cor (IRC): 100 aprox.

• Ignição imediata.

• Vida média: padronizada em 1.000 h.

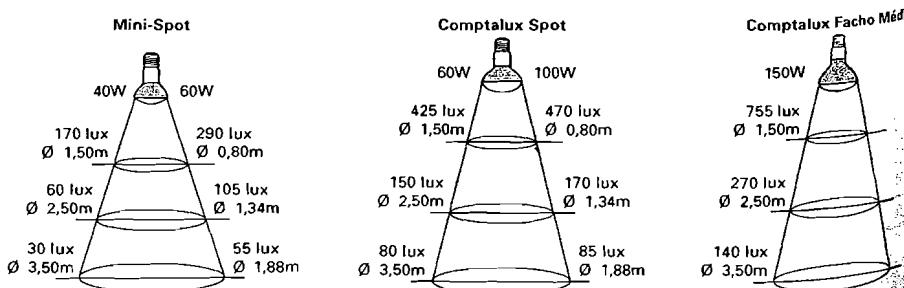


Fig. 8.12 Abertura de fachos luminosos nas lâmpadas refletoras (espelhadas) Philips



Fig. 8.13 Lâmpada refletora Concentra, da Osram

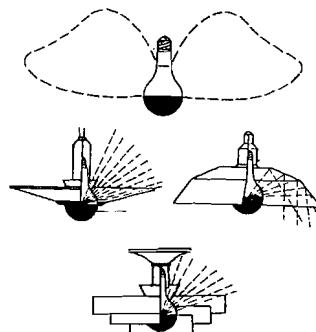


Fig. 8.14 Instalação de lâmpadas refletoras de bulbo prateado

8.2.2 LÂMPADAS DE DESCARGA

Nas lâmpadas denominadas “de descarga”, a energia é emitida sob forma de radiação, que provoca uma excitação de gases ou vapores metálicos, devido à tensão elétrica entre eletrodos especiais.

A radiação, que se estende da faixa do ultravioleta até a do infravermelho, passando pelo espectro luminoso, depende, entre outros fatores, da pressão interna da lâmpada, da natureza do gás ou da presença de partículas metálicas ou halógenas no interior do tubo.

As lâmpadas de descarga podem ser das seguintes classes: *fluorescente* (incluindo compactas e economizadoras), *sódio* (destacando-se as de alta pressão), *mercúrio*, *mista* e *vapores metálicos*.

Façamos algumas considerações sobre estes diversos tipos de lâmpadas de descarga.

8.2.2.1 Lâmpadas Fluorescentes

São constituídas por um tubo em cujas paredes internas é fixado um material fluorescente e onde se efetua uma descarga elétrica, a baixa pressão, em presença de vapor de mercúrio. Produz-se, então, uma radiação ultravioleta que, em presença do material fluorescente existente nas paredes (cristais de fósforo), se transforma em luz visível.

O bulbo das lâmpadas fluorescentes é tubular e de vidro, e em suas extremidades encontram-se eletrodos de tungstênio (catodos), enrolados helicoidalmente e recobertos de determinados óxidos que aumentam seu poder emissor. A instalação de uma lâmpada fluorescente é complementada com os seguintes acessórios:

Reator. Tem por finalidade provocar um aumento da tensão durante a ignição e uma redução na intensidade da corrente, durante o funcionamento da lâmpada. Consiste essencialmente em uma bobina, com núcleo de ferro, ligada em série com a alimentação da lâmpada ou através de circuito eletrônico.

Starter ou disparador. É uma espécie de *minilâmpada* de neônio e destina-se a provocar um pulso na tensão, a fim de deflagrar a ignição na lâmpada. O *starter* funciona segundo o princípio das lâminas bimetálicas, que mencionamos no estudo dos disjuntores (Fig. 8.15).

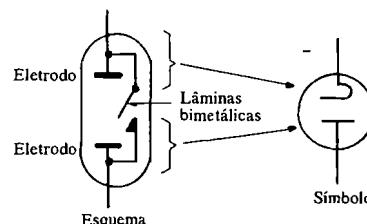


Fig. 8.15 Starter

Com o calor desenvolvido quando ocorre no *starter* uma descarga elétrica na lampadazinha de neônio que é o *starter*, o elemento bimetálico aquecido fecha o circuito. A corrente que passa aquece, então, os eletrodos da lâmpada. Quando cessa a descarga elétrica no *starter*, os elementos bimetálicos resfriam, abrem o contato e cessam a corrente pelo bimetal. Em consequência da abertura do contato, é gerado no reator um pulso indutivo de tensão, isto é, uma sobretenção, e o circuito passa a fechar-se no interior da lâmpada e não mais pelo *starter*.

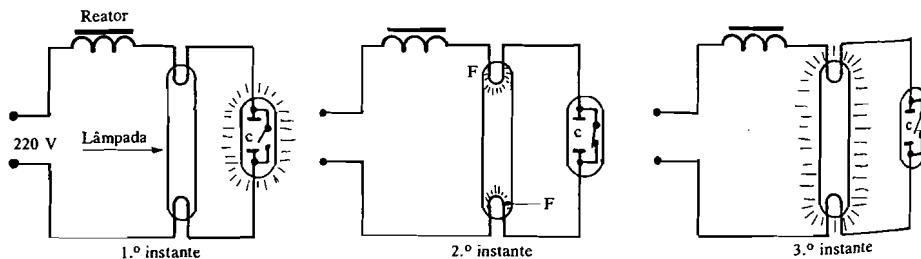


Fig. 8.16 Ligação de uma lâmpada fluorescente

Sob a tensão entre os eletrodos da lâmpada, os elétrons, em seu deslocamento de um filamento ao oposto, chocam-se com os átomos do vapor de mercúrio contido na lâmpada. Os choques determinam uma liberação de energia no comprimento de onda das radiações ultravioleta. As radiações, em contato com a camada fluorescente do tubo, transformam-se em radiação visível. A tensão final no *starter* é insuficiente para gerar uma nova descarga elétrica, o que faz com que o mesmo fique fora de serviço enquanto a lâmpada estiver acesa.

O reator absorve potência reativa da rede, e o fator de potência baixa para cerca de 0,5, a não ser que se utilizem reatores de alto fator de potência de cerca de 0,9. Para melhorar o fator de potência e eliminar o efeito de interferências em rádio e TV, fenômenos transitórios que ocorrem por ocasião da ligação e desligamento dos eletrodos, o *starter* é provido de um capacitor ligado em paralelo com o elemento bimetálico.

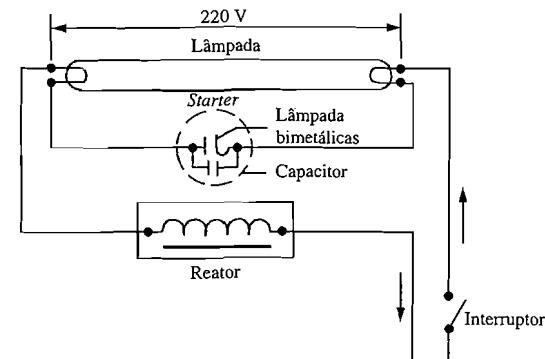


Fig. 8.17 Esquema típico de ligação de uma lâmpada fluorescente, com reator, *starter* e capacitor

Por ser uma impedância, o reator atua como um limitador da intensidade da corrente, que poderia elevar-se excessivamente, uma vez que, no interior da lâmpada, o meio ionizado oferece uma resistência muito pequena à passagem da corrente entre os eletrodos. A corrente sofre uma perda de intensidade ao passar pelo reator. Esta perda depende do tipo de reator. Nos reatores de baixo fator de potência, ligados a uma lâmpada de 40 W, a perda chega a 8,5 watts, e, nos de alto fator de potência, atinge 11 watts.

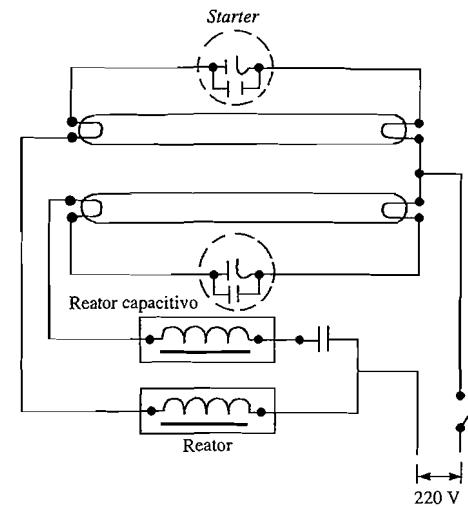


Fig. 8.18 Ligação *duo* ou *lead-lag*, isto é, em paralelo de duas lâmpadas, uma com reator capacitivo

Pode-se melhorar o fator de potência tornando-o aproximadamente igual a 1, pode-se reduzir o efeito estroboscópico executando-se uma ligação em paralelo de duas lâmpadas fluorescentes. Para isso, liga-se uma das lâmpadas normalmente com o reator, e a outra, em série com um *reator* e um *capacitor de compensação*, constituindo um reator capacitivo.

Existem três tipos de reatores:

- I. *Comuns* ou convencionais, que podem ser *simples* e *duplos* (para uma lâmpada ou para duas lâmpadas fluorescentes). Necessitam do *starter* para prover a ignição.
- II. *De partida rápida*, que não necessitam de *starter*. Podem ser, também, dos tipos *simples* ou *duplos*.

A Tabela 8.6 apresenta dados de reatores Philips, convencionais e de partida rápida. A Fig. 8.20 indica algumas modalidades de ligações de lâmpadas fluorescentes de várias potências, sob diversas tensões, com *starter*, isoladas ou agrupadas, conforme indicação da Philips.

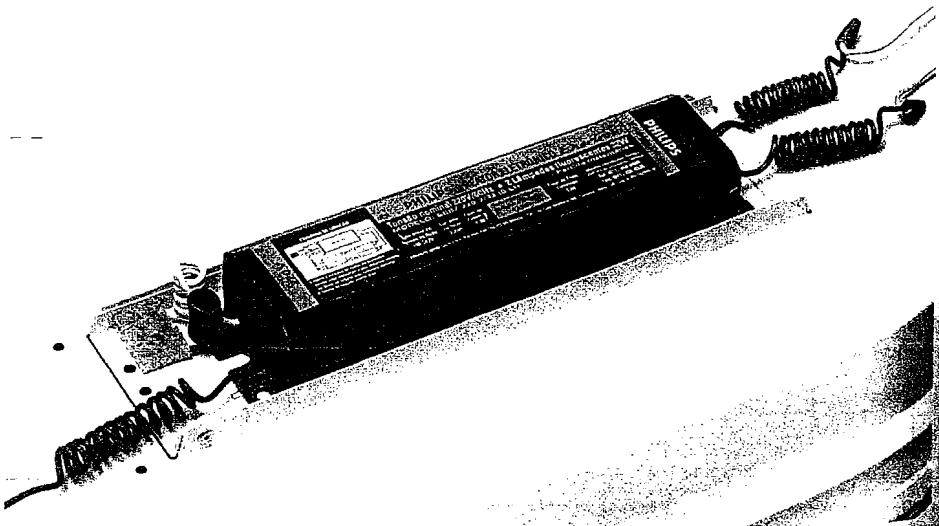


Fig. 8.19 Reator eletrônico Enertron, da Philips. Fabricantes: Philips, Sylvania, GE, Osram

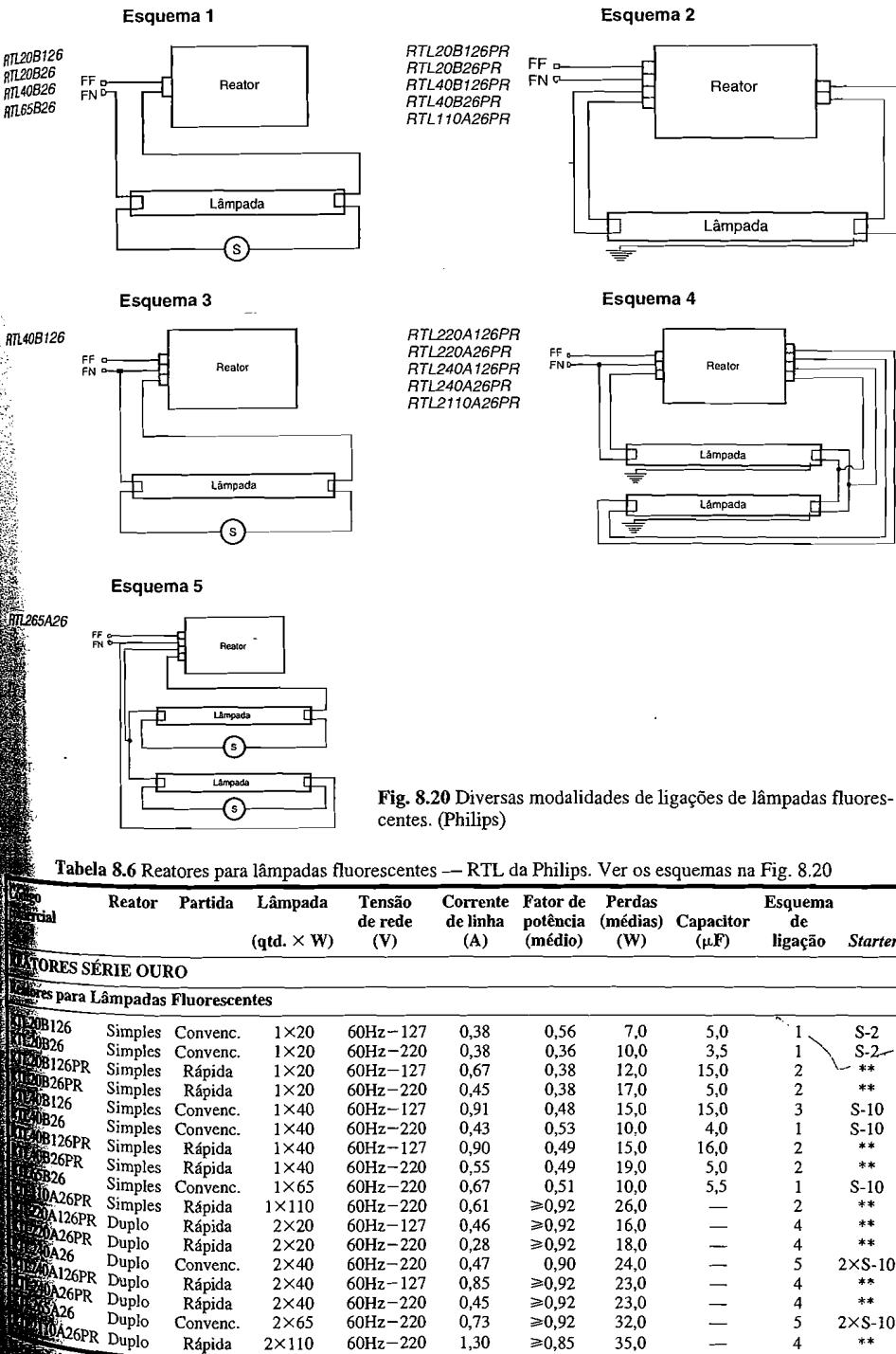


Fig. 8.20 Diversas modalidades de ligações de lâmpadas fluorescentes. (Philips)

Tabela 8.6 Reatores para lâmpadas fluorescentes — RTL da Philips. Ver os esquemas na Fig. 8.20

Código Fabricante	Reator	Partida	Lâmpada	Tensão de rede (qtd. \times W)	Corrente de linha (A)	Fator de potência (médio)	Perdas (médias) (W)	Capacitor (μ F)	Esquema de ligação	Starter
REATORES SÉRIE OURO										
Reatores para Lâmpadas Fluorescentes										
100B126	Simples	Convenc.	1×20	60Hz-127	0,38	0,56	7,0	5,0	1	S-2
100B26	Simples	Convenc.	1×20	60Hz-220	0,38	0,36	10,0	3,5	1	S-2
100B126PR	Simples	Rápida	1×20	60Hz-127	0,67	0,38	12,0	15,0	2	**
100B26PR	Simples	Rápida	1×20	60Hz-220	0,45	0,38	17,0	5,0	2	**
100B126	Simples	Rápida	1×40	60Hz-127	0,91	0,48	15,0	15,0	3	S-10
100B26	Simples	Convenc.	1×40	60Hz-220	0,43	0,53	10,0	4,0	1	S-10
100B126PR	Simples	Rápida	1×40	60Hz-127	0,90	0,49	15,0	16,0	2	**
100B26PR	Simples	Rápida	1×40	60Hz-220	0,55	0,49	19,0	5,0	2	**
100B26	Simples	Convenc.	1×65	60Hz-220	0,67	0,51	10,0	5,5	1	S-10
100A126PR	Simples	Rápida	1×110	60Hz-220	0,61	$\geq 0,92$	26,0	—	2	**
100A126PR	Duplo	Rápida	2×20	60Hz-127	0,46	$\geq 0,92$	16,0	—	4	**
100A126PR	Duplo	Rápida	2×20	60Hz-220	0,28	$\geq 0,92$	18,0	—	4	**
100A26	Duplo	Convenc.	2×40	60Hz-220	0,47	0,90	24,0	—	5	$2 \times S-10$
100A126PR	Duplo	Rápida	2×40	60Hz-127	0,85	$\geq 0,92$	23,0	—	4	**
100A126PR	Duplo	Rápida	2×40	60Hz-220	0,45	$\geq 0,92$	23,0	—	4	**
100A26	Duplo	Convenc.	2×65	60Hz-220	0,73	$\geq 0,92$	32,0	—	5	$2 \times S-10$
100A126PR	Duplo	Rápida	2×110	60Hz-220	1,30	$\geq 0,85$	35,0	—	4	**

* Indicada é para um fator de potência médio de 0,9.
** Lâmpadas de partida rápida não necessitam de starters.

III. Eletrônicos

Apresentam diversas vantagens em relação aos reatores eletromagnéticos, especialmente economia de energia, objetivo com o qual devemos ter uma preocupação constante. Segundo a Philips, os principais benefícios são os listados a seguir.

• Benefícios para o instalador:

Facilidade de instalação; ligação simplificada das lâmpadas, reduzindo o tempo de instalação; não utiliza *starters*; alto fator de potência (0,98), dispensando o uso de capacitores.

• Benefícios para a instalação:

Economia de energia, devido às baixas perdas do reator eletrônico em relação ao reator eletromagnético e à eficiência das lâmpadas fluorescentes; vida média alta (superior a 50.000 horas). Baixa potência de operação, reduzindo custo de ar condicionado; partida rápida e suave; trabalha em alta frequência, sem ruído; baixa distorção harmônica (L 20%); proteção contra interferência eletromagnética; menor risco de curto-circuito.

Algumas aplicações das lâmpadas fluorescentes

Pela Tabela 8.7, poderão ser encontradas, quando existentes, as lâmpadas fluorescentes cujas características desritas correspondem à GE. Por exemplo, a Duramax Super Luz do Dia (GE) poderá ser substituída pela Luz do Dia Plus (Sylvania), Luz do Dia Especial (Osram) ou Extra Luz do Dia (Philips).

- **T8 — Luz do Dia** — luminárias de mesa, de banheiro, *displays* comerciais.
- **Trimline, SP41** — mesma das fluorescentes comuns, porém com consumo 20% menor.
- **Trimline, SPX41** — mesmas das anteriores, principalmente locais movimentados e áreas sofisticadas.
- **Duramax, Super Luz do Dia** — industrial, comercial, escritórios, residências.
- **Croma 50** — indústria têxtil e gráfica, áreas de seleção de cores, curtume.
- **Duramax, Alvorada 35** — mesma da "Super Luz do Dia". Destacam-se principalmente em iluminação de supermercados e lojas de departamento.
- **Coloridas: azul, verde e rosa** — decorativas.
- **HO Luz do Dia** — mesma das fluorescentes comuns de 40 W, porém com mais luz por comprimento, sendo ideais para iluminação em "fileira".
- **Biax SPX27** — lâmpadas fluorescentes compactas que se destinam a substituir com mais eficiência e mais vida as lâmpadas fluorescentes comuns, em dois tipos de base de encaixe ou base de rosca.

a) **Lâmpadas fluorescentes coloridas, Sylvania** (Tabela 8.8).

b) **Lâmpadas fluorescentes HO, Sylvania** (Tabela 8.9).

São lâmpadas com potências de 95 a 110 watts e comprimentos, respectivamente, de 2.385,3 mm e 2.385 mm. Das lâmpadas fluorescentes, as HO são as mais econômicas porque têm menor custo de instalação (reatores, luminárias etc.), alta eficiência (lm/W) e uma distribuição de luz mais uniforme.

c) **Lâmpadas fluorescentes compactas.**

As lâmpadas fluorescentes compactas representam uma grande inovação na tecnologia das fluorescentes, trabalham dentro do mesmo princípio das fluorescentes tubulares, mas são diferentes dos modelos tradicionais, principalmente porque deixam de ter duas extremidades e usam uma única base. As compactas são muito menores e, como usam

Referência comercial	Potência (watts)	Comprim. nominal	Bulbo	Fluxo luminoso nom. inicial (lumens)	Vida nominal (horas)	Fabricantes			
						Philips	Osram	Sylvania	GE
Fluorescentes convencionais - P/reator convencional + Starter	15 W	46 cm	T-8	800 lm	7.500 H	TLD, Extra luz do dia	T8, Luz do dia plus	T8, Luz do dia	T8, Luz do dia
	30 W	92 cm	T-8	2.000 lm	7.500 H	TLD,	Ocetom, Branco confort	—	Trimline, SP41
Fluorescentes de corrente reduzida	16 W	60 cm	T-8	1.020 lm	10.000 H	Branca confort	—	—	Trimline SPX41
	32 W	1,20 m	T-8	2.500 lm	10.000 H	TLD,	Lumilux branca	—	Duramax, Super luz do dia
- P/reator partida rápida especial	16 W	60 cm	T-8	1.150 lm	10.000 H	Super 84	—	—	Croma 50
	32 W	1,20 m	T-8	2.850 lm	10.000 H	TL, Extra luz do dia	Luz do dia especial	Luz do dia plus	Alvorada plus
	20 W	60 cm	T-12	1.060 lm	12.000 H	—	—	—	Duramax, Alvorada 35
	40 W	1,20 m	T-12	2.700 lm	12.000 H	—	—	—	Duramax, Suave 30
Fluorescentes universais	20 W	60 cm	T-12	850 lm	12.000 H	—	—	—	Coloridas: Azul, Verde e Rosa
	40 W	1,20 m	T-12	2.150 lm	12.000 H	—	—	—	Coloridas: Azul, Verde e Rosa
- P/reator partida rápida ou reator convencional + Starter	20 W	60 cm	T-12	1.150 lm	12.000 H	—	—	—	—
	40 W	1,20 m	T-12	3.000 lm	12.000 H	—	—	—	—
	20 W	60 cm	T-12	1.150 lm	12.000 H	—	—	—	—
	40 W	1,20 m	T-12	3.000 lm	12.000 H	—	—	—	—
	20 W	60 cm	T-12	—	12.000 H	—	—	—	—
	40 W	1,20 m	T-12	—	12.000 H	—	—	—	—
Fluorescentes HO p/reator partida rápida especial p/HO	110 W	2,40 m	T-12	8.200 lm	12.000 H	HO, Extra luz do dia	HO, Luz do dia especial	HO, Luz do dia plus	HO, Luz do dia
	7 W	13,5 cm	T-4	400 lm	10.000 H	PL	Palux, interna luminux 41	Compacta TT	Biax SPX27
Fluorescentes biaxiais compactas	9 W	16,5 cm	T-4	600 lm	10.000 H	—	—	—	—
	11 W	23,5 cm	T-4	900 lm	10.000 H	—	—	—	—
	13 W	19,1 cm	T-4	850 lm	10.000 H	—	—	—	—

Tabela 8.8 Lâmpadas fluorescentes coloridas, Sylvania

Potência (watts)	Formato bulbo	Tonalidade	Compr. (mm)	Diâm. (mm)	Fluxo luminoso (lumens)	Rendimento (lm/watt)	Unidades por caixa	Vida média (horas)	Código Sylvania
20	T-12	Azul	604	38	Bipino	650	33	20	7.500 F4D009
20	T-12	Ouro	604	38	Bipino	930	47	20	7.500 F4D010
20	T-12	Rosa	604	38	Bipino	580	29	20	7.500 F4D011
20	T-12	Verde	604	38	Bipino	1.560	78	20	7.500 F4D012
20	T-12	Vermelha	604	38	Bipino	85	4	20	7.500 F4D013
40	T-12	Azul	1.214	38	Bipino	1.100	28	20	12.000 F4D014
40	T-12	Ouro	1.214	38	Bipino	1.530	38	20	12.000 F4D015
40	T-12	Rosa	1.214	38	Bipino	1.380	35	20	12.000 F4D016
40	T-12	Verde	1.214	38	Bipino	2.850	71	20	12.000 F4D017
40	T-12	Vermelha	1.214	38	Bipino	220	6	20	12.000 F4D018

A lâmpada fluorescente colorida é produzida com fôtono especial. Além de ser utilizada na iluminação decorativa, tem aplicações na indústria, na mineralogia e na medicina.

Tabela 8.9 Lâmpadas fluorescentes HO, Sylvania

Potência (watts)	Formato bulbo	Tonalidade	Compr. (mm)	Diâm. (mm)	Base	Fluxo luminoso (lumens)	Rendimento (lm/watt)	Unidades por caixa	Vida média (horas)	Código Sylvania
60	T-12	Luz do dia plus	1.166	38	D.C.E.	3.800	63	20	12.000	F2A040
60	T-12	Alvorada plus	1.166	38	D.C.E.	4.200	70	20	12.000	F2A072
60	T-12	Branco real plus	1.166	38	D.C.E.	2.900	48	20	12.000	F2A060
85	T-12	Luz do dia plus	1.775	38	D.C.E.	5.700	67	10	12.000	F2A041
85	T-12	Alvorada plus	1.775	38	D.C.E.	6.300	74	10	12.000	F2A066
85	T-12	Branco real plus	1.775	38	D.C.E.	4.350	51	10	12.000	F2A043
110	T-12	Luz do dia plus	2.385	38	D.C.E.	7.750	70	10	12.000	F2A042
110	T-12	Alvorada plus	2.385	38	D.C.E.	8.600	78	10	12.000	F2A065
110	T-12	Branco real plus	2.385	38	D.C.E.	5.900	54	10	12.000	F2A038

A lâmpada fluorescente HO produz um alto fluxo luminoso com alta eficiência. É indicada para locais onde a altura das luminárias seja superior a 3 metros, resultando em uma solução econômica.

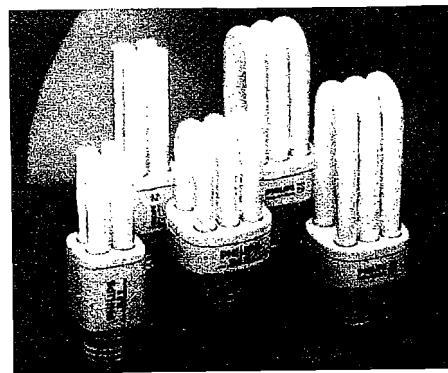


Fig. 8.21 Lâmpadas fluorescentes compactas, Philips

trifósforos, são fluorescentes de eficiência elevada e de luz com excelente característica de cor, isto é, são muito econômicas. Têm duas vantagens significativas sobre as incandescentes: podem ser usadas no lugar delas com mais vida e redução dos custos de manutenção.

d) Lâmpadas fluorescentes de partida rápida.

Possuem um catodo de “espiral tríplice”, o qual possibilita um aquecimento inicial rápido, graças a uma auto-indução auxiliar, e dispensa o uso do *starter* para realizar o preaquecimento dos eletrodos, necessário nas lâmpadas comuns. Em 1 a 2 segundos, a lâmpada acende sob uma tensão de partida elevada, necessária para iniciar a descarga pelo vapor de mercúrio, e durante sua operação o filamento continua aquecido pela passagem de uma corrente, porém de pequena intensidade.

Eliminam o efeito de cintilação provocado pelos dispositivos de partida que continuam tentando acender as lâmpadas convencionais (catodo preaquecido) cuja vida útil já esteja esgotada, mas que ainda tremulam, porque o funcionamento das lâmpadas de catodo quente e partida rápida cessa de maneira definitiva e instantaneamente.

Devem ser usadas com *reatores para partida rápida*.

As lâmpadas possuem apenas um pino em cada extremidade, ao contrário do que ocorre com as de catodo preaquecido. São usadas em locais que devam permanecer continuamente iluminados, mas a ligação muito frequente reduz o tempo de vida das mesmas.

8.2.2.2 Lâmpada de Descarga — Luz Mista

Reúne em uma só lâmpada as vantagens da lâmpada incandescente, da fluorescente e da de vapor de mercúrio. Assim:

- A luz do filamento emite luz incandescente.
- A luz do tubo de descarga a vapor de mercúrio emite intensa luz azulada.
- A radiação invisível (ultravioleta), em contato com a camada fluorescente do tubo, transforma-se em luz avermelhada.
- Não necessita de equipamentos auxiliares (reator, ignitor), tem maior eficiência e vida média oito vezes maior que as incandescentes.

Como resultado, consegue-se uma luz semelhante à luz do dia. O fluxo luminoso é de 20 a 35% maior do que o da lâmpada incandescente, e a duração, cerca de seis vezes maior. Exemplos: Lâmpadas ML Philips, HWL Osram, cor corrigida GE e LM Sylvania.

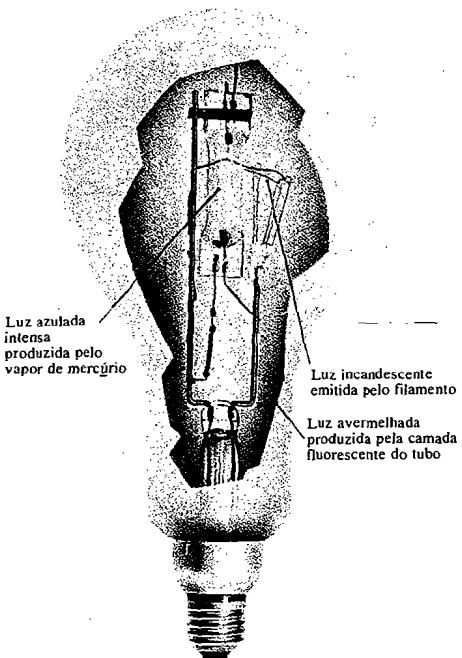


Fig. 8.22 Lâmpada de luz mista LM, Sylvania

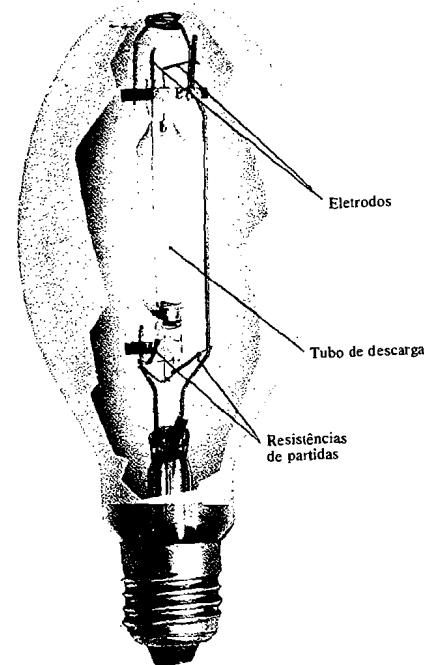


Fig. 8.23 Lâmpada a vapor de mercúrio, Sylvania

Tabela 8.10 Lâmpadas de luz mista LM, Sylvania do Brasil S.A.

Potência (watts)	Formato bulbo	Acabamento	Compr. (mm)	Largura (mm)	Base	Fluxo luminoso (lumens)	Rendimento (lm/watt)	Posição de trabalho	Vida média (horas)	Código Sylvania
160	Ovóide	Revestido	177	75	E-27	2.900	18	Vert. $\pm 30^\circ$	8.000	H2A0E
250	Ovóide	Revestido	223	90	E-27	5.200	21	Universal	8.000	H2A0F
250	Ovóide	Revestido	223	90	E-40	5.200	21	Universal	8.000	H2A0F
500	Ovóide	Revestido	280	117	E-40	12.500	25	Universal	8.000	H2A0G

A Luz Mista-LM não necessita de reator. É ligada diretamente à rede de 220 volts. Uma alternativa de baixo custo para a substituição de lâmpadas incandescentes de alta potência. Temperatura de cor 3.500 K e índice de reprodução de cores 60.

8.2.2.3 Lâmpada de Descarga a Vapor de Mercúrio

Consta de um tubo de quartzo ou vidro duro contendo uma pequena quantidade de mercúrio e cheio de gás argônio, com quatro eletrodos — dois principais e dois auxiliares — colocados nas extremidades do tubo. Os dois eletrodos auxiliares e o gás argônio estabelecem um arco de ignição preliminar que vaporiza o mercúrio. Forma-se, em seguida, o arco luminoso definitivo entre os dois eletrodos principais.

O bulbo é revestido internamente com uma camada fluorescente de fosfato de sódio-vanadato, o que transforma a radiação ultravioleta em luz avermelhada, que melhora a reprodução das cores e distribui uniformemente a luz do tubo por toda a superfície do bulbo, evitando ofuscamento à visão.

O bulbo de vidro evita a irradiação ultravioleta fora do tubo, protegendo, assim, a vista das pessoas.

Após a ligação, a lâmpada leva cerca de três minutos para atingir a totalidade do fluxo luminoso nominal. Depois de apagada, a lâmpada acenderá somente após três minutos de resfriamento.

A radiação proveniente da descarga sob alta pressão de vapor de mercúrio situa-se principalmente na zona visível. A descarga ocorre num recipiente relativamente pequeno de quartzo, protegido por um bulbo de vidro. Para corrigir a reprodução deficiente das cores, aplica-se material fluorescente na parede interna do bulbo, de modo a transformar a radiação ultravioleta, gerada na descarga, em luz. A instalação requer reator e ignitor para aumentar a tensão de ignição e um capacitor de compensação, a fim de melhorar o fator de potência (Fig. 8.24).

Possuem um fluxo luminoso grande e uma vida útil longa, o que as torna muito econômicas.

8.2.2.4 Lâmpadas a Vapor de Sódio

O tubo de descarga da lâmpada de sódio é constituído de sódio e uma mistura de gases inertes (neônio e argônio) a uma determinada pressão suficiente para obter uma tensão de ignição baixa. A descarga ocorre num invólucro de vidro tubular a vácuo, coberto na superfície interna por uma camada de óxido de índio. Esta camada age como um refletor infravermelho. A lâmpada de sódio de baixa pressão possui uma radiação quase monocromática, elevada eficiência luminosa e vida útil longa.

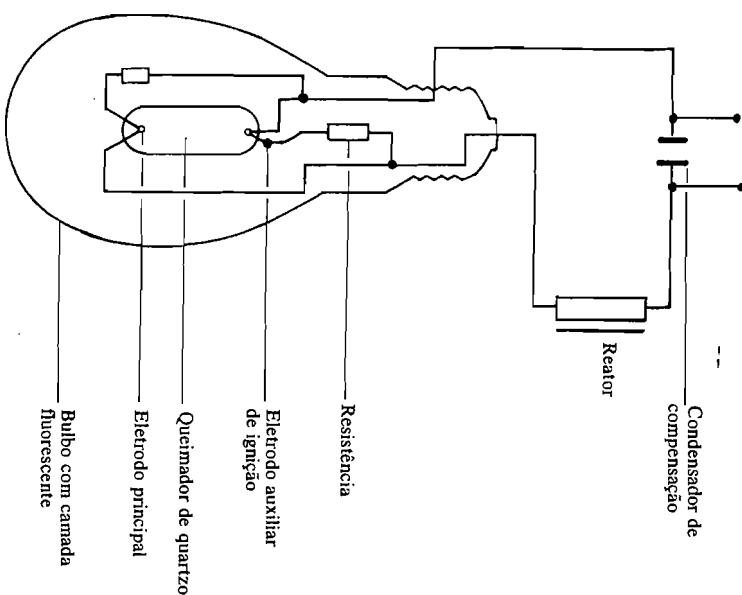


Fig. 8.24 Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. (Cortesia Osram)

Tabela 8.11 Lâmpadas a vapor de mercúrio HPL-N da Philips

Código comercial	Base	Tensão mínima da rede para ignição*	Tensão mínima da rede para operação estável	Tensão média na lâmpada**	Corrente média na lâmpada**	Fluxo luminoso médio**	Temperatura máxima (base)
	(V)	(20°C)	(20°C)	(V)	(A)	(lm)	(°C)
HPL-N 80W	E27/27	220	180	198	0,80	3.600	200
HPL-N 125W	E27/27	220	180	198	1,15	6.200	300
HPL-N 250W	E40/45	220	180	198	1,35	12.700	250
HPL-N 400W	E40/45	220	180	198	2,10	22.000	350
				140	3,25	250	

*Zero hora.

**Após 100 horas de funcionamento.

Tabela 8.12 Lâmpadas a vapor metálico tubular duplo contato — HSI-TD, Sylvania

Potência (watts)	Formato bulbo	Tonalidade	Compr. (mm)	Largura (mm)	Base	Fluxo luminoso (lumens)	Rendimento (lm/watt)	Posição de trabalho	Unidades por caixa	Vida média (horas)	Código Sylvania
70	Tubular	NDL	120	21	RX7s-2	5.500	79	Hor. ± 45°	10	9.000	H4E008
70	Tubular	WDL	120	21	RX7s-2	6.000	86	Hor. ± 45°	10	9.000	H4E001
100	Tubular	NDL	120	21	RX7s-2	8.550	86	Hor. ± 45°	10	9.000	H4E011
100	Tubular	WDL	120	21	RX7s-2	8.550	86	Hor. ± 45°	10	9.000	H4E003
150	Tubular	NDL	137	24	RX7s-2	13.000	87	Hor. ± 45°	10	9.000	H4E005
150	Tubular	WDL	137	24	RX7s-2	13.000	87	Hor. ± 45°	10	9.000	H4E006
250	Tubular	NDL	162	26	Fc2/18	20.000	80	Hor. ± 45°	12	9.000	H4E010
250	Tubular	WDL	162	26	Fc2/18	20.000	80	Hor. ± 45°	12	9.000	H4E012

A lâmpada Vapor Metálico Tubular Duplo Contato — HSI-TD de baixa potência foi projetada para iluminação de interiores. Proporciona alto fluxo luminoso com excelente reprodução de cores. WDL — temperatura de cor 3.200 K e índice de reprodução de cores 75. NDL — temperatura de cor 4.200 K e índice de reprodução de cores 75.

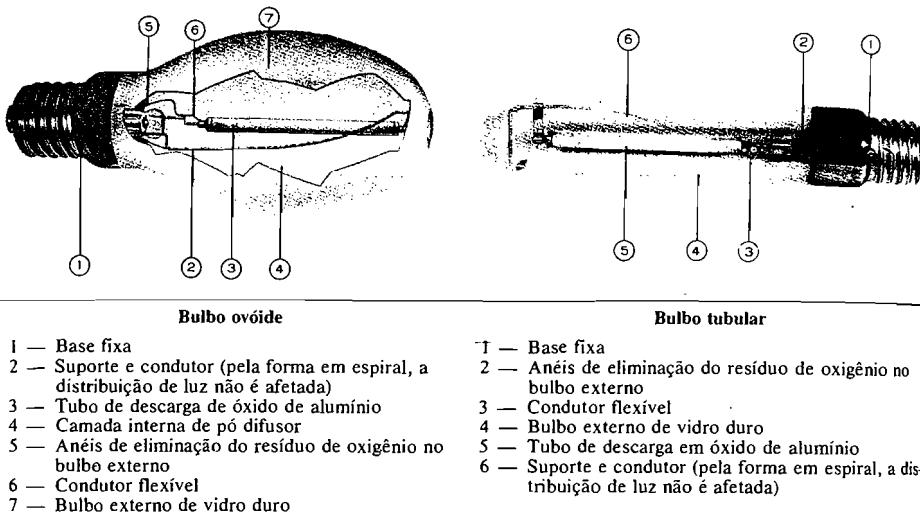


Fig. 8.25 Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão SON/SON-T, Philips

Tabela 8.13 Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão SON-SON/T e SON-H, Philips

Código comercial	Base	Tensão (V)	Tensão mín. da rede para ignição* (20°C) (V)	Tensão mín. da rede para operação estável (20°C) (V)	Tensão média na lâmpada** (V)	Corrente média na lâmpada** (A)	Fluxo luminoso médio** (lm)	Temperatura máxima (°C) base	Temperatura máxima (°C) bulbo
SON-H 220W	E40/45	220	~190	200	104	2,50	18.000	250	350
SON-H 350W	E40/45	220	190	200	117	3,60	34.500	250	350
SON/T 250W	E40	220	170	198	100±15	3,00	27.500	250	350
SON/T 400W	E40	220	170	198	100±15	4,60	48.000	250	350
SON/T 1.000W	E40	220	170	198	105±15	10,60	125.000	250	350
SON 70W	E27/27	220	198	198	90	0,98	5.600	250	350
SON 250W	E40/45	220	198	198	100	3,00	26.500	250	350
SON 400W	E40/45	220	198	198	105	4,45	49.000	250	350

*Zero hora, entre -30°C e +20°C.

**Após 100 horas de funcionamento.

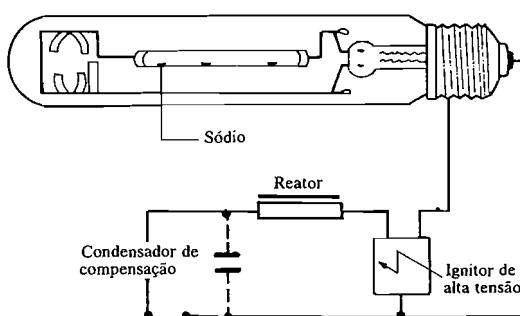


Fig. 8.26 Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão, Osram

8.2.2.5 Lâmpadas de Multivapores Metálicos

A adição de certos compostos metálicos halogenados ao mercúrio (iodetos e brometos) permite tornar contínuo o espectro da descarga de alta pressão. Conseguem-se, assim, uma excelente reprodução de cores, que corresponde à luz do dia. As lâmpadas, neste caso, poderão ter ou não material fluorescente no bulbo.

A Osram fabrica essas lâmpadas sob a designação de Power Stars HQI-T, HQI-E e HQI-TS, e a Philips, sob a designação NHN-TD, CDM-T e CDM-R.

São especialmente recomendadas quando se requer ótima qualidade na reprodução de cores, como, por exemplo, em estádios, pistas de corrida de cavalos, ginásios, museus, iluminação de fachadas altas, pavilhões etc., principalmente quando se pretende televisionamento em cores.

Requerem ignitor de partida e eventualmente capacitor para melhorar o fator-de-potência.

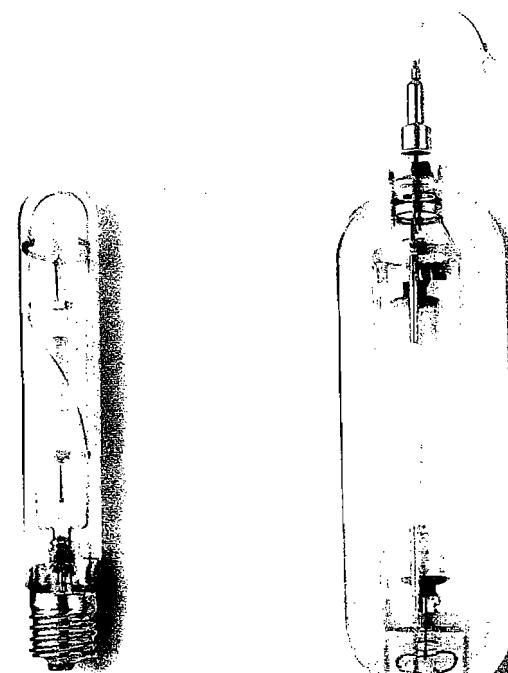


Fig. 8.27a Lâmpada multivapor metálico HQI-T, Osram

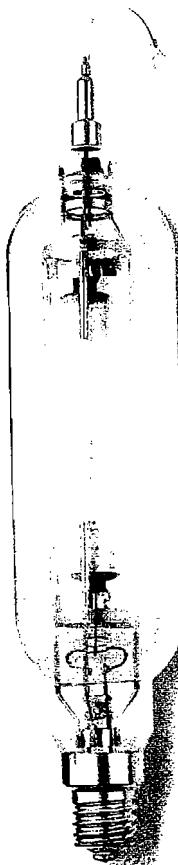


Fig. 8.27b Lâmpada multivapor metálico HQI-TS, Osram

8.3 COR DA LUZ

A temperatura do corpo luminoso da lâmpada caracteriza não apenas o fluxo luminoso que emite mas também a cor da luz. O filamento de tungstênio aquecido até 2.000 K [2.000 kelvin = (2.000 - 273)°C = 1.727°C] fornece uma luz branco-avermelhada. A 3.400 K é quase perfeitamente branca. Mas não se deve aquecer o filamento além de 2.000 K, e excepcionalmente se atingem 2.500 K e mesmo 3.000 K.

Costuma-se referir à cor da luz de uma lâmpada de descarga fluorescente e de múltiplos vapores em graus kelvin. Quando se diz, por exemplo, que uma lâmpada fluorescente TLD Extra Luz do Dia tem uma temperatura de cor de 6.250 K, significa que a cor do fluxo luminoso que emite é igual à que seria emitida por um filamento de tungstênio de determinadas características naquela temperatura.

Quanto maior o valor da temperatura de cor, mais uniforme o espectro luminoso e mais branca a luz. Não se deve supor que o fluxo luminoso seja de tal modo relacionado com a temperatura de cor que quanto maior for esta, maior será o fluxo luminoso. Uma lâmpada fluorescente de 30 W, TLD Philips, cor Extra Luz do Dia, temperatura de cor igual a 6.250 K, tem um fluxo luminoso de 2.000 lumens, enquanto outra de 30 W, Super 84, tem uma temperatura de cor de 4.100 K e um fluxo luminoso de 2.850 lumens.

Tabela 8.14 Comportamento das cores primárias sob iluminação fluorescente

Tipo de lâmpada	Temp. cor	Gama de eficiência (LPW)	Coloração aparente nas seguintes cores			
			Branco	Azul	Verde	Vermelho
Luz do dia	6.250 K	43-70	Ligeiramente azul	Esfria, ressalta	Faz brilhar, dá um tom azulado	Opaca, dá um tom violeta
Alvorada	3.500 K	53-84	Ligeiramente amareulado	Acinzentia os tons escuros, clareia os claros	Brilhante, claro, ligeiramente amareulado	Apaga os tons escuros, amarela os tons claros

8.4 VIDA ÚTIL E RENDIMENTO LUMINOSO DAS LÂMPADAS

As lâmpadas podem funcionar durante um número de horas designado como *vida útil* das mesmas. As variações na tensão, vibrações, freqüência de liga-desliga, condições ambientais e outras afetam a vida útil, de modo que esta grandeza é expressa por uma faixa e não por um número.

A vida útil varia de acordo com o tipo de lâmpada, conforme se observa na Tabela 8.15.

Tabela 8.15 Vida útil dos vários tipos de lâmpadas

Tipo de lâmpada	Vida útil (horas)	Eficiência (lúmen p/watt)
Incandescente	1.000 a 6.000	10 a 20
Infravermelha	2.000 a 5.000	—
Mista	6.000 a 8.000	17 a 25
Fluorescente	7.500 a 12.000	43 a 84
Vapor de sódio	12.000 a 16.000	75 a 105
Multivapores metálicos	10.000 a 20.000	69 a 115
Vapor de mercúrio	9.000 a 24.000	42 a 63
Vapor de sódio em alta pressão	24.000	68 a 140

É necessário conceituarmos o rendimento luminoso ou eficiência de uma lâmpada. A eficiência luminosa vem a ser a relação entre a potência luminosa irradiada (em lumens) e a potência elétrica absorvida pela lâmpada (em watts).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} (\text{lúmen/W}) \quad 8.6$$

Pode-se dizer que, de um modo geral, quanto maior o rendimento de uma lâmpada, tanto mais econômica será a fonte, e que este rendimento aumenta com o valor da potência da lâmpada.

Tabela 8.16 Lâmpadas incandescentes. Fluxo luminoso e rendimento

Potência nominal (watt)	Grupos de tensão (volt)	Fluxo luminoso (lúmen) para tensões de 220 V	Rendimento luminoso (lúmen/watt)
25	127/220	230	9,2
40		430	10,8
60		730	12,2
75		960	12,8
100		1.380	13,8
150		2.220	14,8
200		3.150	15,8
300		5.000	16,6
500		8.400	16,8
1.000		18.800	18,8

8.5 EMPREGO DE IGNITORES

Ignitores são dispositivos de partida para lâmpadas a vapor metálico e a vapor de sódio de alta pressão.

Notas:

- Os ignitores são próprios para uma rede elétrica de 50 ou 60 Hz.
- Na instalação deverão ser obedecidas necessariamente as indicações para ligação dos terminais, conforme esquema no próprio ignitor.
- Os equipamentos auxiliares para lâmpadas de sódio e vapores metálicos poderão ficar no máximo a 14 metros das lâmpadas.

Tabela 8.17 Ignitores Philips para lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio de alta pressão e multivapores metálicos

Código comercial	Pico de tensão na partida (V)	Peso (g)
S-50	3.000 a 4.500	150
S-53	3.000 a 4.500	150

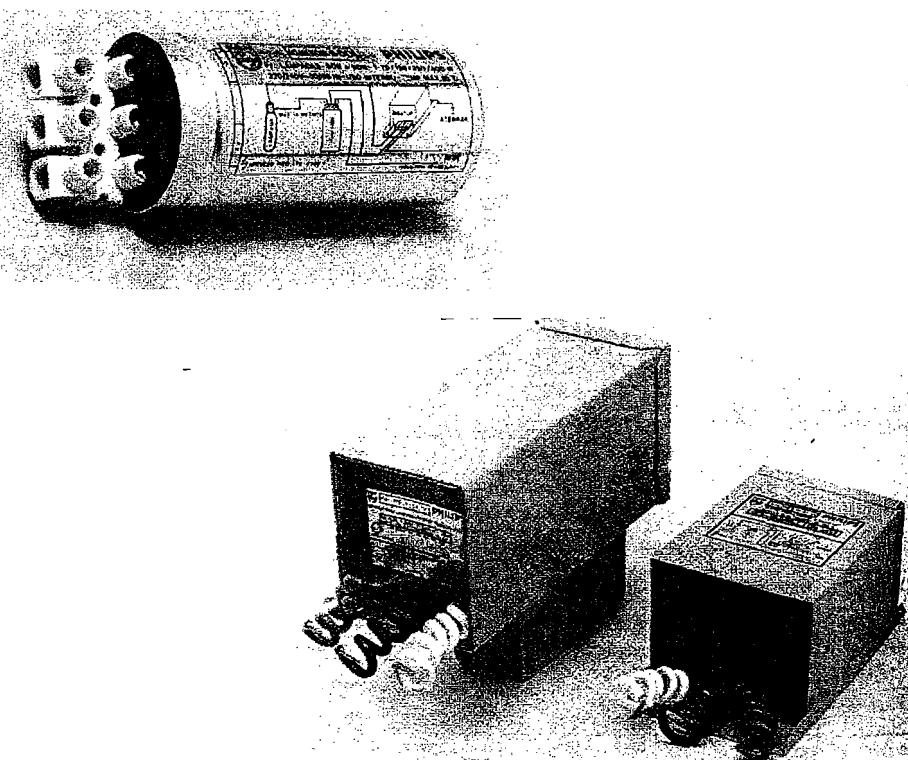


Fig. 8.28 Ignitores Philips

Como já foi visto, há certos tipos de lâmpadas que necessitam, além de reator, de um *starter* ou ignitor. O ignitor é um dispositivo de partida usado em lâmpadas a vapor metálico e a vapor de sódio de alta pressão.

O diagrama da Fig. 8.29 refere-se à ligação da lâmpada de descarga sem e com ignitor.

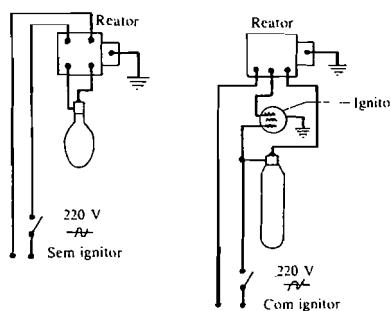


Fig. 8.29 Ligação de lâmpadas de descarga sem e com ignitor

8.6 LUMINÁRIAS

As luminárias são constituídas pelos aparelhos com as lâmpadas. Nos aparelhos são colocadas as lâmpadas. Os aparelhos as protegem, orientam ou concentram o facho luminoso; difundem a luz; reduzem a brilhanaça e o ofuscamento ou proporcionam um bom efeito decorativo.

Na escolha da luminária ou aparelho de iluminação, além dos objetivos mencionados, deve-se atender a fatores de ordem econômica, durabilidade, facilidade de manutenção, além, naturalmente, das características do ambiente ou local a iluminar.

Existem aparelhos próprios para iluminação indireta e outros para iluminação semi-indireta, semidireta, direta, semiconcentrante direta e concentrante direta. É o que mostra a Tabela 8.18, da General Electric S.A., na qual são também indicados os espaçamentos e as distâncias ao teto dos aparelhos de iluminação indireta e semi-indireta.

8.7 PROJETO DE ILUMINAÇÃO

O projeto de iluminação de um recinto supõe algumas opções preliminares. Deve-se escolher entre:

- Iluminação incandescente, mista ou fluorescente.
- Iluminação direta, indireta, semidireta, semi-indireta, semiconcentrante direta, concentrante direta.

Esta opção envolve aspectos de decoração do ambiente e principalmente o conhecimento da *destinatária do local* (sala, escritório, loja, indústria etc.), e as *atividades* que serão desenvolvidas no local (trabalho bruto, trabalhos que exijam iluminância intensa etc.). Deve-se, de imediato, determinar:

- As dimensões do local.
- As cores das paredes e do teto.
- A altura das mesas, bancadas de trabalho ou máquinas a serem operadas, conforme o caso.
- Possibilidade de fácil manutenção dos aparelhos.

Existem vários métodos que podem ser aplicados na elaboração de um projeto de iluminação de ambientes interiores.

Além do método proposto pelo IES (*Illuminating Engineering Society*) no seu *Lighting Handbook*, encontram-se nos manuais e catálogos de fabricantes de lâmpadas e (ou) luminárias roteiros que seguem, em geral, as mesmas considerações, aplicando os dados luminotécnicos referentes aos produtos que fabricam.

Apresentaremos o método da General Electric S.A. combinado com os dados das lâmpadas Sylvania do Brasil S.A. e da Philips do Brasil, embora fosse perfeitamente válido usar dados da Osram do Brasil.

8.7.1 ÍNDICES DE ILUMINÂNCIA DE INTERIORES

A Norma Brasileira NBR 5.413/92 apresenta uma tabela com valores dos índices de iluminância requeridos para cada classe A, B e C de tarefas visuais mais comuns. Na referida norma, o índice de iluminação tem a designação de *iluminamento* e é expresso, também, em *lux*.

8.7.2 SELEÇÃO DA ILUMINÂNCIA

A NBR 5.413/92 estabelece um procedimento para a escolha da "iluminância" constante da Tabela 8.19.

Tabela 8.18 Espaçamento e distância
Espaçamento máximo entre aparelhos (todas as dimensões em metros)

Altura de montagem, acima do piso (A altura do teto ao piso será usada para iluminação indireta e semi-indireta)	Distância do aparelho ao teto, para iluminação indireta e semi-indireta	Distância às paredes (Todos os lados de luminárias)		
		Semi-indireta	Semidireta	Concentrante direta
2,40	0,3-0,9	2,70	2,70	0,70
2,70	0,5-0,9	3,20	2,70	0,90
3,00	0,6-0,9	3,80	3,20	1,20
3,40	0,6-0,9	4,10	3,70	1,30
3,70	0,8-1,2	4,60	4,10	1,50
4,00	0,9-1,2	5,10	4,60	1,60
4,30	0,9-1,2	5,80	5,00	1,80
4,60	0,9-1,2	6,10	5,50	1,90
4,90	1,2-1,5	6,70	6,10	2,10
5,50	1,2-1,5	7,30	6,70	2,40
6,00 ou mais	1,2-1,8	8,50	7,60	2,70

Tabela 8.19 Iluminâncias por classe de tarefas visuais, segundo a NBR 5.413/92

Faixa	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A	20 30 50	Áreas públicas com arredores escuros.
A	50 75 100	Orientação simples para permanência curta.
A	100 150 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos.
A	200 300 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B	500 750 1.000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
B	1.000 1.500 2.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
B	2.000 3.000 5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno etc.
C	5.000 7.500 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
C	10.000 15.000 20.000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Nota: As classes, bem como os tipos de atividade, não são rígidas quanto às iluminâncias limites recomendadas, ficando a critério do projetista avançar ou não valores das classes/tipos de atividades adjacentes, dependendo das características do local/tarefa.

Observa-se que na Tabela 8.19 constam três valores de “iluminância” para cada grupo de tarefas visuais. Para a escolha da “iluminância” em determinado problema, deve-se atender aos três fatores que constam da Tabela 8.20 e que são:

- A idade do observador;
- A velocidade e a precisão exigidas na operação;
- A refletância da superfície onde se desenvolve a tarefa.

Tabela 8.20 Fatores determinantes da iluminância adequada

Característica da tarefa e do observador	Peso P		
	-1	0	+1
Idade dos ocupantes	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Procede-se da seguinte maneira:

1.) Determina-se o peso (-1 , 0 ou $+1$) correspondente a cada característica.

Por exemplo:

- Operários, em média com menos de 40 anos: $P_1 = -1$

- A precisão é importante: $P_2 = 0$

- O fundo onde se desenvolve a operação tem uma refletância de 30 a 70%: $P_3 = 0$

2.) Somam-se algebricamente os valores encontrados (considerando, portanto, os signos).

No exemplo, $P = P_1 + P_2 + P_3 = -1 + 0 + 0 = -1$.

3.) Se o valor total for igual a -2 ou -3 , usa-se a iluminância mais baixa do grupo na Tabela 8.19. Se a soma for igual a $+2$ ou $+3$, usa-se o maior valor da iluminância. Nos demais casos, usa-se o valor central.

No exemplo em consideração, suponhamos que se trate de "tarefas com requisitos visuais normais". Como $P = -1$, deveremos considerar o valor central para a "iluminância", ou seja, Faixa B, 750 lux.

Vejamos outro caso:

Suponhamos uma fábrica, seção de máquinas-ferramentas, de pouca precisão, mas onde a velocidade é importante, com operários com menos de 40 anos, refletância do fundo da tarefa muito pequena, inferior a 30%. Temos no caso:

• Idade:	$P_1 = -1$	-1
• Velocidade e precisão:	$P_2 = 0$	0
• Refletância do fundo:	$P_3 = +1$	$+1$
	$P = P_1 + P_2 + P_3 = 0$	0

Usemos o valor médio, Faixa A, trabalho bruto de maquinaria. A iluminância (Tabela 8.19) deverá ser de 300 lux.

A Tabela 8.21 apresenta uma extensa lista, em 13 páginas, de valores da iluminância para as mais diversas situações, locais e ambientes, que o leitor é convidado a consultar, em face de um projeto de certa responsabilidade.

A Tabela 8.21 apresenta alguns valores de "iluminâncias" conforme a NBR 5.413/92, o que permite um cotejo entre os valores.

Uma vez definido o índice de iluminamento, isto é, a iluminância requerida, trata-se de determinar o fluxo luminoso total ϕ (lúmen) necessário para alcançar o índice estabelecido (lux).

Vejamos como a solução é proposta pela GE e em seguida pela Philips, ambas baseadas no chamado *método dos lumens*.

MÉTODO DA GENERAL ELECTRIC

Parte das seguintes considerações:

- Quando se considera a iluminação de um compartimento, interessa especialmente conhecer o iluminamento médio no chão, mas, quando se tratar de salas de trabalho, deve-se considerar o iluminamento no plano médio das mesas, bancadas ou máquinas, plano este situado entre 80 e 100 cm, em geral, acima do piso, e denominado *plano útil* de trabalho.
- Quando, em um compartimento, uma ou várias fontes de luz emitem um fluxo luminoso ϕ , pode acontecer que apenas uma parte deste fluxo atinja diretamente o plano útil ou o plano do chão. Uma parte é absorvida pelos próprios aparelhos. Outra atinge as paredes e o teto e é em parte absorvida. O fluxo, realmente aproveitado para a iluminação, será, apenas, uma fração do fluxo total ϕ , emitido pelas lâmpadas. Podemos escrever:

$$\varphi = u \phi$$

87

Tabela 8.21 Iluminâncias (iluminamentos) médias em lux

Atividades	NBR 5.413/92
Auditórios e anfiteatros	• platéia 100-150-200
Bancos	• atendimento ao público 300-500-750 • salas de digitadores 300-500-750 • salas de gerentes 300-500-750 • guichês 300-500-750 • arquivos 200-300-500
Bibliotecas	• sala de leitura 300-500-750
Escolas	• salas de aula 200-300-500 • quadros-negros 300-500-750
Escritórios	• desenho decorativo e esboço 300-500-750
Hospitais	• mesa de trabalho 300-500-750 • radioterapia 100-150-200
Hotéis e restaurantes	Cozinha: • geral 150-200-300 • local 300-500-750
Lojas	Vitrinas e balcões* • geral 750-1.000-1.500
Residências	Sala de estar • geral 100-150-200 • local (leitura e escrita) 300-500-750 Cozinhas: • geral 100-150-200 • local (fogão e mesa) 200-300-500 Hall, escada e garagem • geral 75-100-150 • local 200-300-500 Banheiros • geral 100-150-200 • local (espelhos) 200-300-500 Quarto de dormir • geral 100-150-200 • local (espelho e cama) 200-300-500

*Centros comerciais de grandes cidades.

Fator de utilização, u

O fator u , sempre menor do que 1, denomina-se *coeficiente de utilização* ou *fator de utilização*, e é a razão entre o fluxo utilizado e o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas.

O coeficiente de utilização depende:

- Da distribuição e da absorção de luz, efetuadas pelos aparelhos de iluminação (globos, refletores etc.).
- Das dimensões do compartimento. Esta dependência exprime-se através de um coeficiente que se denomina *índice do local*.
- Das cores das paredes e do teto, caracterizadas pelo *fator de reflexão*.

Índice do local

Por meio da Tabela 8.22, acha-se o *índice do local*. Para isto, entramos com a largura e o comprimento do local, e:

- a *altura do teto*, se a iluminação for indireta ou semi-indireta;
- a *distância do foco luminoso ao chão*, e determinamos o índice do local, expresso por uma letra, compreendida entre A e J.

Tabela 8.22 Índice do local

		Altura do teto em metros									
Para iluminação indireta e semi-indireta		2,75 a 2,90	3,00 a 3,50	3,70 a 4,10	4,30 a 5,00	5,20 a 6,00	6,40 a 7,30	7,60 a 9,00	9,50 a 11,00	11,30 a 15,30	
Distância do chão ao foco luminoso em metros											
Para iluminação direta e semidireta		2,15 a 2,30	2,45 a 2,60	2,75 a 2,90	3,00 a 3,50	3,70 a 4,10	4,30 a 5,00	5,20 a 6,00	6,40 a 7,30	7,60 a 9,00	9,50 a 11,00
Largura do local (metros)	Comp. do local (metros)	Índice do local									
2,75 (2,60-2,75)	2,50-3,00	H	I	J	J						
	3,00-4,30	H	I	I	J	J					
	4,30-6,00	G	H	I	J	J					
	6,00-9,00	G	G	H	I	J					
	9,00-13,00	F	G	H	I	J	J				
3,00 (2,90-3,20)	13,00 ou mais	E	F	G	H	I	J				
	3,00-4,30	G	H	I	J	J					
	4,30-6,00	G	H	I	J	J					
	6,00-9,00	F	G	H	I	J					
	9,00-13,00	F	G	H	I	J					
	13,00-18,30	E	F	G	H	I	J				
3,70 (3,40-3,80)	18,30 ou mais	E	F	F	H	I	J				
	3,00-4,30	G	H	I	J	J					
	4,30-6,00	F	G	H	I	J					
	6,00-9,00	F	G	G	H	I	J				
	9,00-13,00	E	F	G	H	I	J				
	13,00-18,30	E	F	F	H	I	J				
4,30 (4,00-4,70)	18,30 ou mais	E	E	F	F	G	H	I	J		
	4,30-6,00	F	G	H	I	J	J				
	6,00-9,00	E	F	G	H	I	J				
	9,00-13,00	E	F	F	G	H	I	J			
	13,00-18,30	E	E	F	F	H	I	J	J		
	18,30-27,50	D	E	E	F	G	H	J	J		
5,20 (4,90-5,65)	27,30 ou mais	D	E	E	F	F	G	I	J	J	
	4,30-6,00	E	F	G	H	I	J	J			
	6,00-9,00	E	F	F	G	H	I	J			
	9,00-13,00	D	E	F	G	H	I	J			
	13,00-18,30	D	E	E	F	G	I	J	J		
	18,30-35,00	D	E	E	F	G	G	I	J	J	
6,00 (5,80-6,60)	35,00 ou mais	C	D	E	F	G	H	I	J	J	
	6,00-9,00	D	E	F	G	H	I	J	J		
	9,00-13,00	D	E	E	F	G	H	I	J	J	
	13,00-18,30	D	D	E	E	F	G	H	J	J	
	18,30-27,50	C	D	E	E	F	G	H	I	J	
	27,50-43,00	C	D	D	E	F	H	I	I	J	
7,30 (6,70-7,90)	43,00 ou mais	C	D	D	E	F	F	H	I	J	
	6,00-9,00	D	E	E	F	G	H	I	J	J	
	9,00-13,00	C	D	E	F	G	G	I	J	J	
	13,00-18,30	C	D	D	E	F	G	H	I	J	
	18,30-27,50	C	D	D	E	F	G	H	I	J	
	27,50-43,00	C	C	D	E	F	G	H	I	J	
43,00 ou mais	43,00 ou mais	C	C	D	E	F	G	H	I	J	

Tabela 8.22 (cont.) Índice do local

		Altura do teto em metros									
Para iluminação indireta e semi-indireta		2,75 a 2,90	3,00 a 3,50	3,70 a 4,10	4,30 a 5,00	5,20 a 6,00	6,40 a 7,30	7,60 a 9,00	9,50 a 11,00	11,30 a 15,30	
Distância do chão ao foco luminoso em metros											
Largura do local (metros)	Comp. do local (metros)	Índice do local									
9,00 (8,25-10,00)	9,00-13,00	C	D	D	E	F	G	H	I	J	
	13,00-18,30	C	C	D	D	F	F	H	I	J	
	18,30-27,50	B	C	C	D	E	E	G	H	J	
	27,50-43,00	B	C	C	D	E	E	F	G	J	
	43,00-55,00	B	C	C	D	E	E	F	G	J	
	55,00 ou mais	B	C	C	D	E	E	F	G	J	
11,00 (10,40-11,90)	9,00-13,00	B	C	D	E	F	F	H	I	J	
	13,00-18,30	B	C	C	D	E	F	H	I	J	
	18,30-27,50	A	C	C	D	E	F	H	H	J	
	27,50-43,00	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
	43,00-60,00	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
	60,00 ou mais	A	B	C	D	E	F	F	G	J	
12,80 (12,20-13,70)	13,00-18,30	A	B	C	C	E	F	G	H	I	J
	18,30-27,50	A	B	B	D	E	F	G	H	I	J
	27,50-43,00	A	B	B	D	D	E	F	G	H	I
	43,00-60,00	A	A	B	D	D	E	F	G	H	I
	60,00 ou mais	A	A	B	D	D	E	F	F	G	I
	60,00 ou mais	A	A	B	D	D	E	F	F	G	I
15,30 (14,00-16,80)	13,00-18,30	A	A	B	C	D	E	F	G	H	J
	18,30-27,50	A	A	B	C	D	E	F	G	H	J
	27,50-43,00	A	A	A	C	D	E	F	F	G	I
	43,00-60,00	A	A	A	C	D	E	F	F	G	I
	60,00 ou mais	A	A	A	C	D	E	F	F	G	H
	60,00 ou mais	A	A	A	C	D	E	F	F	G	H
18,30 (17,00-20,45)	18,30-27,50	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
	27,50-43,00	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
	43,00-60,00	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
	60,00 ou mais	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
	60,00 ou mais	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
	60,00 ou mais	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
23,00 (20,75-27,50)	18,30-27,50	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	27,50-43,00	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	43,00-60,00	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	60,00 ou mais	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	60,00 ou mais	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	60,00 ou mais	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G

Fator de reflexão

Obtido o índice do local, para obtermos o *coeficiente de utilização*, entramos na Tabela 8.23 ou 8.23a com o *tipo de luminária* que for escolhido e com o *índice do local*. Devemos levar em consideração, também, os *fatores de reflexão* das paredes e tetos, que se acham na Tabela 8.24, de acordo com as cores das mesmas.

Para maior simplicidade, podemos usar a Tabela 8.25, que nos dá a refletância de paredes e tetos, independentemente das cores.

Tabela 8.23 (cont.) Coeficientes de utilização. Aparelhos General Electric

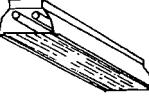
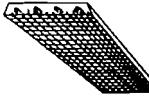
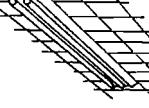
Luminária		Teto	75%		50%		Descrição			
		Paredes	50%	30%	10%	50%				
Fator de depreciação	Índice do local	Coeficientes de utilização								
(11)			J	0,27	0,23	0,21	0,27	0,23	0,21	Refletor parabólico duplo para 2 lâmpadas fluorescentes - 1 = 0,9 h
			I	0,32	0,29	0,26	0,32	0,28	0,26	
			H	0,36	0,33	0,30	0,35	0,32	0,30	
			G	0,39	0,36	0,34	0,38	0,36	0,34	
			F	0,42	0,39	0,37	0,41	0,38	0,36	
			E	0,44	0,42	0,40	0,44	0,42	0,40	
			D	0,46	0,44	0,42	0,45	0,44	0,42	
			C	0,47	0,46	0,44	0,47	0,45	0,44	
			B	0,49	0,48	0,46	0,48	0,47	0,46	
			A	0,50	0,49	0,48	0,49	0,48	0,47	
(12)			J	0,29	0,24	0,21	0,28	0,24	0,21	Refletor com difusor de plástico 1 = 0,9 h
			I	0,35	0,31	0,27	0,34	0,30	0,27	
			H	0,39	0,35	0,32	0,38	0,35	0,32	
			G	0,43	0,39	0,36	0,42	0,39	0,36	
			F	0,46	0,42	0,39	0,45	0,42	0,39	
			E	0,49	0,46	0,43	0,48	0,46	0,43	
			D	0,51	0,48	0,46	0,50	0,48	0,46	
			C	0,52	0,50	0,48	0,52	0,50	0,48	
			B	0,54	0,52	0,51	0,54	0,52	0,50	
			A	0,55	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52	
(13)			J	0,25	0,21	0,18	0,25	0,21	0,18	Aparelho para embutir com colmeia 1 = h
			I	0,31	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	
			H	0,36	0,31	0,28	0,35	0,31	0,28	
			G	0,40	0,36	0,33	0,39	0,36	0,33	
			F	0,43	0,39	0,36	0,42	0,39	0,36	
			E	0,46	0,43	0,40	0,46	0,43	0,40	
			D	0,49	0,46	0,43	0,48	0,46	0,43	
			C	0,51	0,48	0,46	0,50	0,48	0,46	
			B	0,53	0,51	0,49	0,52	0,50	0,49	
			A	0,54	0,53	0,51	0,54	0,52	0,51	
(14)			J	0,20	0,16	0,13	0,20	0,16	0,13	Aparelho para embutir com difusor de plástico
			I	0,25	0,21	0,18	0,24	0,20	0,18	
			H	0,28	0,24	0,22	0,27	0,24	0,21	
			G	0,32	0,28	0,25	0,31	0,27	0,25	
			F	0,34	0,30	0,28	0,33	0,30	0,28	
			E	0,37	0,34	0,32	0,36	0,33	0,31	
			D	0,39	0,36	0,34	0,38	0,36	0,34	
			C	0,40	0,38	0,36	0,39	0,37	0,36	
			B	0,42	0,40	0,39	0,41	0,40	0,38	
			A	0,43	0,42	0,41	0,43	0,41	0,40	
(15)			J	0,32	0,25	0,20	0,30	0,24	0,20	Calha chanfrada 1 = h
			I	0,40	0,32	0,27	0,38	0,31	0,26	
			H	0,47	0,39	0,34	0,44	0,38	0,32	
			G	0,53	0,46	0,40	0,50	0,44	0,39	
			F	0,58	0,51	0,45	0,55	0,49	0,44	
			E	0,64	0,58	0,52	0,61	0,56	0,51	
			D	0,68	0,62	0,58	0,65	0,60	0,56	
			C	0,72	0,66	0,62	0,68	0,64	0,60	
			B	0,76	0,71	0,67	0,72	0,69	0,66	
			A	0,79	0,75	0,72	0,76	0,72	0,70	

Tabela 8.23 (cont.) Coeficientes de utilização. Aparelhos General Electric

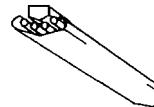
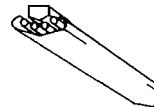
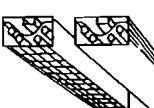
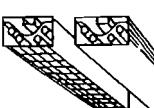
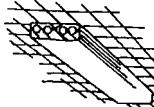
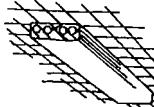
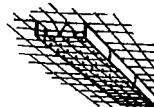
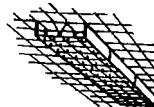
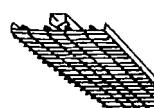
Luminária		Teto	75%		50%		Descrição	
			Paredes	50%	30%	10%		
Fator de depreciação	Índice do local	Coeficientes de utilização						
⑯  $d = 0,70$		J	0,27	0,23	0,20	0,26	0,22	0,20
		I	0,33	0,29	0,26	0,32	0,28	0,25
		H	0,38	0,34	0,30	0,37	0,33	0,30
		G	0,43	0,38	0,35	0,41	0,37	0,35
		F	0,46	0,41	0,39	0,44	0,41	0,37
		E	0,50	0,47	0,44	0,48	0,45	0,42
		D	0,53	0,50	0,47	0,50	0,48	0,46
		C	0,55	0,52	0,50	0,52	0,50	0,48
		B	0,57	0,55	0,53	0,54	0,53	0,51
		A	0,59	0,57	0,55	0,56	0,55	0,53
⑰  $d = 0,70$		J	0,25	0,20	0,17	0,24	0,20	0,17
		I	0,31	0,26	0,23	0,29	0,25	0,22
		H	0,36	0,31	0,28	0,34	0,30	0,27
		G	0,40	0,36	0,32	0,39	0,35	0,32
		F	0,44	0,40	0,36	0,42	0,38	0,35
		E	0,48	0,44	0,41	0,46	0,43	0,40
		D	0,51	0,48	0,45	0,48	0,46	0,43
		C	0,53	0,50	0,47	0,51	0,48	0,46
		B	0,56	0,53	0,51	0,53	0,51	0,50
		A	0,58	0,56	0,54	0,55	0,53	0,52
⑱  $d = 0,70$		J	0,22	0,17	0,14	0,21	0,16	0,14
		I	0,27	0,22	0,19	0,26	0,22	0,19
		H	0,32	0,27	0,23	0,30	0,26	0,23
		G	0,36	0,31	0,28	0,34	0,30	0,27
		F	0,39	0,34	0,31	0,37	0,33	0,30
		E	0,43	0,39	0,36	0,41	0,37	0,35
		D	0,46	0,42	0,39	0,43	0,40	0,38
		C	0,48	0,45	0,42	0,45	0,43	0,40
		B	0,50	0,48	0,46	0,48	0,46	0,44
		A	0,52	0,49	0,48	0,50	0,48	0,46
⑲  $d = 0,75$		J	0,26	0,21	0,18	0,25	0,21	0,18
		I	0,32	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24
		H	0,37	0,31	0,29	0,35	0,31	0,28
		G	0,42	0,37	0,34	0,40	0,36	0,33
		F	0,45	0,41	0,37	0,43	0,39	0,37
		E	0,49	0,46	0,42	0,47	0,44	0,41
		D	0,52	0,48	0,46	0,49	0,47	0,44
		C	0,54	0,51	0,48	0,51	0,49	0,47
		B	0,56	0,54	0,52	0,54	0,52	0,50
		A	0,58	0,56	0,54	0,56	0,54	0,53
⑳  $d = 0,75$		J	0,22	0,18	0,16	0,20	0,17	0,15
		I	0,28	0,24	0,21	0,25	0,22	0,19
		H	0,32	0,28	0,25	0,29	0,25	0,23
		G	0,36	0,32	0,29	0,32	0,29	0,27
		F	0,39	0,35	0,32	0,35	0,32	0,30
		E	0,43	0,40	0,37	0,38	0,36	0,33
		D	0,45	0,42	0,40	0,40	0,38	0,36
		C	0,47	0,44	0,42	0,42	0,40	0,38
		B	0,49	0,47	0,44	0,44	0,42	0,40
		A	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42

Tabela 8.23 (cont.) Coeficientes de utilização. Aparelhos General Electric

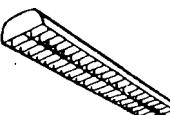
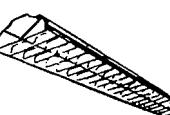
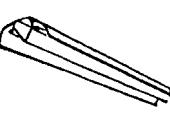
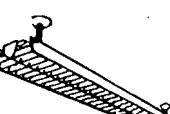
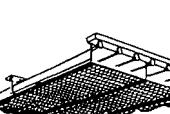
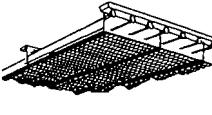
Fator de depreciação	Tipo	Índice do local	Coeficientes de utilização						Descrição
			Teto		75%		50%		
Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%			
(21)		J	0,25	0,21	0,23	0,21	0,21	0,19	Luminária comercial para lâmpadas <i>high output</i> , providas de colmeia
		I	0,31	0,27	0,29	0,26	0,25	0,23	
		H	0,35	0,32	0,33	0,30	0,28	0,27	
		G	0,40	0,36	0,37	0,34	0,30	0,31	
		F	0,43	0,39	0,39	0,37	0,35	0,32	
		E	0,47	0,44	0,43	0,40	0,37	0,35	Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem × 0,9
		D	0,49	0,47	0,45	0,43	0,39	0,38	
		C	0,51	0,49	0,47	0,45	0,41	0,40	
		B	0,54	0,52	0,49	0,47	0,43	0,42	
		A	0,56	0,54	0,50	0,49	0,45	0,44	
(22)		J	0,29	0,24	0,28	0,24	0,23	0,20	Luminária industrial para lâmpadas <i>high output</i> , provida de colmeia
		I	0,37	0,32	0,36	0,31	0,30	0,29	
		H	0,44	0,39	0,41	0,38	0,36	0,33	
		G	0,50	0,45	0,47	0,43	0,41	0,39	
		F	0,54	0,50	0,51	0,47	0,45	0,42	
		E	0,61	0,56	0,57	0,52	0,50	0,48	Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem × 1,0
		D	0,64	0,60	0,60	0,56	0,53	0,51	
		C	0,67	0,63	0,63	0,59	0,55	0,54	
		B	0,70	0,67	0,65	0,63	0,59	0,57	
		A	0,73	0,70	0,68	0,65	0,61	0,60	
(23)		J	0,29	0,25	0,28	0,24	0,23	0,21	Luminária industrial para lâmpadas <i>high output</i>
		I	0,38	0,33	0,36	0,32	0,31	0,29	
		H	0,45	0,40	0,42	0,38	0,37	0,35	
		G	0,51	0,45	0,48	0,43	0,41	0,40	
		F	0,55	0,50	0,52	0,48	0,46	0,43	
		E	0,63	0,58	0,59	0,55	0,52	0,49	Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem × 1,0
		D	0,67	0,62	0,62	0,59	0,55	0,53	
		C	0,70	0,66	0,65	0,62	0,58	0,56	
		B	0,73	0,70	0,68	0,65	0,61	0,59	
		A	0,76	0,73	0,70	0,68	0,63	0,62	
(24)		J	0,25	0,20	0,24	0,20	0,22	0,19	Luminária comercial para lâmpadas <i>high output</i> , provida de colmeia
		I	0,32	0,27	0,31	0,26	0,29	0,23	
		H	0,37	0,32	0,35	0,31	0,32	0,28	
		G	0,44	0,38	0,42	0,36	0,38	0,33	
		F	0,49	0,42	0,46	0,40	0,40	0,37	
		E	0,55	0,49	0,52	0,47	0,45	0,42	Espaçamento máximo entre aparelhos = altura de montagem × 1,1
		D	0,57	0,54	0,54	0,51	0,49	0,45	
		C	0,62	0,57	0,58	0,54	0,51	0,48	
		B	0,66	0,62	0,62	0,58	0,53	0,51	
		A	0,69	0,65	0,64	0,61	0,55	0,53	
(25)		J	0,25	0,21	0,19	0,20	0,16	0,16	Teto com colmeia plástica
		I	0,30	0,25	0,24	0,23	0,20	0,19	
		H	0,34	0,29	0,27	0,26	0,23	0,22	
		G	0,37	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	
		F	0,40	0,36	0,34	0,30	0,27	0,26	
		E	0,44	0,39	0,38	0,32	0,30	0,29	
		D	0,46	0,42	0,41	0,34	0,32	0,31	
		C	0,48	0,44	0,43	0,35	0,33	0,32	
		B	0,50	0,47	0,46	0,37	0,34	0,34	
		A	0,51	0,48	0,48	0,37	0,36	0,35	

Tabela 8.23 (cont.) Coeficientes de utilização. Aparelhos General Electric

Fator de depreciação	Tipo	Índice do local	Coeficientes de utilização						Descrição
			Teto		75%		50%		
Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%			
(26)		J	0,20	0,16	0,16	0,17	0,15	0,14	Teto com colmeia de metal (branco)
		I	0,23	0,20	0,19	0,21	0,18	0,17	
		H	0,26	0,23	0,22	0,23	0,20	0,19	
		G	0,28	0,26	0,24	0,25	0,23	0,22	
		F	0,30	0,27	0,26	0,27	0,24	0,23	
		E	0,32	0,30	0,29	0,29	0,27	0,26	Teto com plástico acrílico
		D	0,34	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27	
		C	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	0,29	
		B	0,37	0,34	0,34	0,32	0,31	0,30	
		A	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	

Observação: O fator de depreciação deve ser estimado da seguinte maneira:

a) manutenção deficiente

(d = 0,45 = tipo c/plástico)

(d = 0,55 = tipo c/colmeia)

b) manutenção boa

(d = 0,65 = tipo c/plástico)

(d = 0,70 = tipo c/colmeia)

Tabela 8.24 Fatores de reflexão das diversas cores (refletância)

Branco	75 a 85%
Marfim	63 a 80%
Creme	56 a 72%
Amarelo claro	65 a 75%
Marrom	17 a 41%
Verde claro	50 a 65%
Verde escuro	10 a 22%
Azul claro	50 a 60%
Rosa	50 a 58%
Vermelho	10 a 20%
Cinzento	40 a 50%

Tabela 8.25 Refletâncias de paredes e tetos

Teto branco	75%
Teto claro	50%
Paredes brancas	50%
Paredes claras	30%
Paredes medianamente claras	10%

Fator de depreciação

O fluxo emitido por um aparelho de iluminação decresce com o uso. Este fato tem três causas:

- A diminuição do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, ao longo da vida útil das mesmas.
- A poeira e a sujeira que se depositam sobre os aparelhos e lâmpadas quando expostas.
- A diminuição do poder refletor das paredes e do teto, em consequência de seu escurcimento progressivo.

A Tabela 8.23, em sua primeira coluna, apresenta valores do *fator de depreciação d*, que vem a ser a relação entre o fluxo luminoso produzido por uma luminária no fim do *período de manutenção* (tempo decorrido entre duas limpezas consecutivas de uma luminária) e o fluxo emitido pela mesma luminária no início de seu funcionamento.

Cálculo do fluxo luminoso total, ϕ

Já calculamos, ou obtivemos em tabelas, as seguintes grandezas:

S — área do compartimento, em m^2

E — iluminamento desejado, em lux

U — fator de utilização

d — fator de depreciação e refletâncias do teto e das paredes

Podemos calcular o fluxo luminoso total necessário:

$$\phi = \frac{E \times S}{U \times d} \quad 8.8$$

Número, n , de luminárias

O tipo de luminária e o número de lâmpadas em cada uma já terão sido escolhidos, de acordo com os modelos da Tabela 8.23 ou com outros modelos semelhantes, cujos dados o fabricante forneceu.

Sabe-se, portanto, qual o fluxo luminoso de cada lâmpada ou das lâmpadas de cada luminária (se a luminária contiver mais de uma).

Para isto, recorre-se às tabelas que dão o fluxo luminoso das lâmpadas:

Tabela 8.4 — para lâmpadas incandescentes para iluminação geral.

Tabela 8.7 — para lâmpadas fluorescentes.

Tabela 8.8 — para lâmpadas fluorescentes coloridas.

Tabela 8.9 — para lâmpadas fluorescentes HO.

Tabela 8.10 — para lâmpadas de luz mista.

Tabela 8.11 — para lâmpadas a vapor de mercúrio, Philips.

Tabela 8.12 — para lâmpadas a vapores metálicos.

Tabela 8.13 — para lâmpadas a vapor de sódio.

Para obter o número n de luminárias, basta dividir o fluxo total necessário, ϕ , pelo fluxo de cada luminária (igual ao produto do fluxo de uma lâmpada pelo número de lâmpadas em cada luminária ou aparelho). Então:

$$n = \frac{\phi}{\varphi} \quad 8.9$$

Arredonda-se n para um número inteiro e se processa a melhor distribuição de aparelhos.

Exemplo 8.2

Projetar a iluminação de uma sala de escritório de trabalho comum, com 14 m de comprimento por 9 m de largura e 3,10 m de pé-direito. O teto é branco e as paredes são pintadas de cor creme.

Índice de iluminamento

Aplicação da Tabela 8.20

Admitamos:

- Idade dos ocupantes — inferior a 40 anos: Peso $P_1 = -1$.
- Velocidade e precisão: Peso $P_2 = -1$.
- Refletância do fundo da tarefa: Peso $P_3 = 0$.

$$P = -1 - 1 + 0 = -2.$$

Como P é igual a -2 , podemos usar o valor mais baixo da iluminância na Tabela 8.19, conforme foi explicado no item 8.7.2. Trata-se do valor $E = 500$ lux, na Faixa B (iluminação geral para área de trabalho).

Luminárias

Há diversas opções. Podemos escolher aparelhos para quatro lâmpadas fluorescentes de 40 W, luminária simples, com difusor plástico. Designado pelo número 18 na Tabela 8.23.

Área do local, S

$$S = 14 \times 9 = 126 \text{ m}^2$$

Fator de depreciação, d , correspondente à luminária (18) na Tabela 8.23

$$d = 0,70$$

Índice do local

Com a largura $a = 9$ m e comprimento $b = 14$ m e distância do aparelho ao chão $h = 3,10$ m, pois trata-se de aparelho de luz direta, obtemos como índice do local, D (Tabela 8.22).

Coeficiente de utilização, u (Tabela 8.23)

Na Tabela 8.25, encontramos:

- Para teto branco — refletância de 75%.
- E paredes claras — refletância de 30%.

Entrando na Tabela 8.23, com:

- Aparelho n.º 18 — luminária simples com difusor plástico.
- Teto — 75%.
- Paredes — 30%.
- Índice do local — D .

Obteremos como coeficiente de utilização:

$$u = 0,42$$

Fluxo luminoso total

$$\phi = \frac{E \times S}{u \times d} = \frac{500 \times 126}{0,42 \times 0,70} = 214.286 \text{ lumens}$$

Fluxo luminoso do aparelho

Temos quatro lâmpadas fluorescentes universais, extra luz do dia, de 40 W cada.

Na Tabela 8.7 vemos que o fluxo luminoso é de 2.700 lumens por lâmpada. Logo, para a luminária teremos:

$$4 \times 2.700 \text{ lumens} = 10.800 \text{ lumens}$$

Número de luminárias

$$n = \frac{\phi}{\varphi} = \frac{214.286}{10.800} = 19,9, \text{ ou seja, } 20 \text{ luminárias}$$

Disposição das luminárias

Podemos dispô-las como mostra a Fig. 8.30.

$$\begin{aligned} d_1 &= 2,70 \text{ m} \\ d_2 &= 2,25 \text{ m} \end{aligned}$$

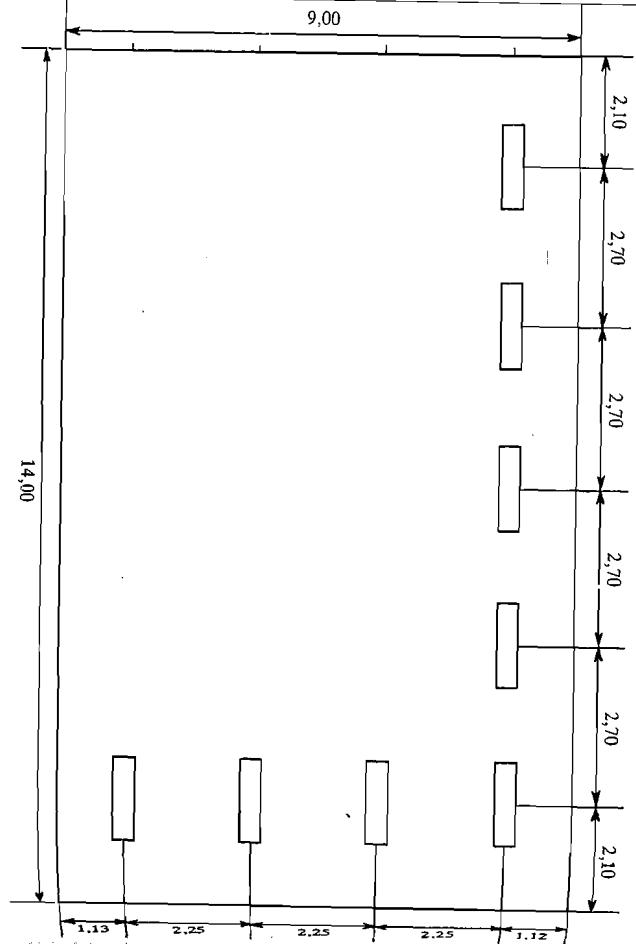


Fig. 8.30 Disposição das luminárias

MÉTODO DA PHILIPS

A Philips do Brasil publicou, em setembro de 1983, um folheto intitulado Cálculo de Iluminação Interna, fruto de sua larga experiência em iluminação e na elaboração dos mais variados projetos.

Gracias ao emprego de computadores, deu-se a modernização das tabelas dos fatores de utilização. Com a divulgação dessas tabelas e do método proposto pela Philips, acreditamos prestar uma colaboração aos projetistas de iluminação de interiores.

Vejamos em que consiste o método e como se utilizam as tabelas.

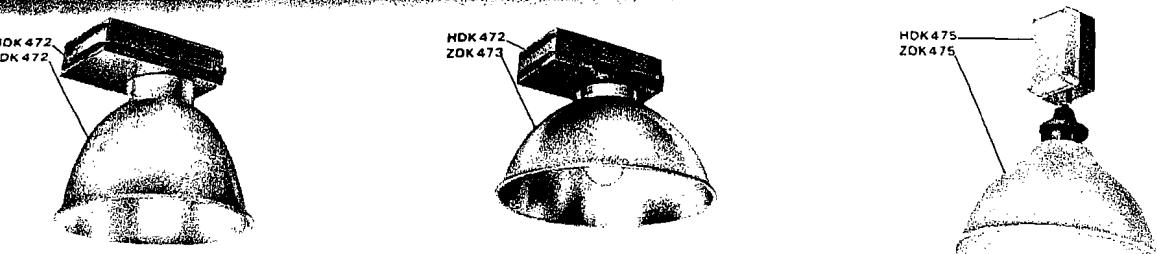
$$K = \frac{C \times L}{(C + L) \times A}$$

Calcula-se o valor do fator do local, K , e adopta-se o valor inteiro mais próximo.

Fatores de reflexão ou refletâncias

Na Tabela 8.26 aparecem, na linha superior, números com três algarismos:

- O primeiro refere-se à reflexão do teto.
- O segundo, à das paredes.
- O terceiro, à do piso.



HDK 472 c/ ZDK 472 - HPL-N 250W										HDK 472 c/ ZDK 473 - HPL-N 400W										HDK 475 c/ ZDK 475 - HPL-N 400W									
Índice do local K	Refletâncias									Índice do local K	Refletâncias									Índice do local K	Refletâncias								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	751		731	711	551	531	511	331	311	000	
0,60	0,47	0,43	0,40	0,46	0,42	0,40	0,42	0,40	0,38	0,60	0,50	0,46	0,42	0,50	0,45	0,42	0,45	0,42	0,60	0,33	0,27	0,23	0,32	0,27	0,23	0,26	0,23	0,22	
0,80	0,54	0,50	0,47	0,53	0,49	0,47	0,49	0,46	0,45	0,80	0,58	0,53	0,49	0,57	0,52	0,49	0,52	0,49	0,80	0,40	0,34	0,30	0,39	0,34	0,30	0,33	0,30	0,28	
1,00	0,59	0,55	0,53	0,58	0,55	0,52	0,54	0,52	0,51	1,00	0,63	0,59	0,56	0,62	0,58	0,55	0,58	0,55	1,00	0,46	0,40	0,36	0,44	0,40	0,36	0,39	0,36	0,34	
1,25	0,64	0,60	0,58	0,63	0,60	0,57	0,59	0,57	0,56	1,25	0,68	0,64	0,61	0,67	0,63	0,61	0,63	0,60	1,25	0,51	0,46	0,42	0,50	0,45	0,42	0,44	0,41	0,40	
1,50	0,67	0,64	0,61	0,66	0,63	0,61	0,62	0,60	0,59	1,50	0,72	0,68	0,65	0,70	0,67	0,65	0,66	0,64	1,50	0,55	0,50	0,46	0,53	0,49	0,46	0,49	0,46	0,44	
2,00	0,71	0,69	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,66	0,64	2,00	0,77	0,74	0,71	0,75	0,73	0,71	0,72	0,70	2,00	0,60	0,57	0,53	0,59	0,56	0,53	0,55	0,52	0,50	
2,50	0,74	0,72	0,70	0,72	0,71	0,69	0,70	0,69	0,67	2,50	0,80	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,75	0,74	2,50	0,64	0,61	0,58	0,62	0,60	0,57	0,58	0,56	0,54	
3,00	0,75	0,74	0,72	0,74	0,73	0,71	0,72	0,71	0,69	3,00	0,82	0,80	0,78	0,80	0,79	0,77	0,77	0,76	3,00	0,66	0,63	0,61	0,65	0,62	0,60	0,61	0,59	0,57	
4,00	0,77	0,76	0,74	0,76	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	4,00	0,84	0,82	0,81	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79	4,00	0,69	0,67	0,65	0,68	0,66	0,64	0,65	0,63	0,61	
5,00	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,74	0,72	5,00	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	5,00	0,71	0,69	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,65	0,63	

HDK 472 c/ ZDK 472 - HPL-N 400W										SDK 472 c/ ZDK 473 - SON 150W										HDK 475 c/ ZDK 475 - SON 250W									
Índice do local K	Refletâncias									Índice do local K	Refletâncias									Índice do local K	Refletâncias								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	751		731	711	551	531	511	331	311	000	
0,60	0,39	0,35	0,33	0,39	0,35	0,33	0,35	0,32	0,31	0,60	0,52	0,48	0,45	0,51	0,48	0,45	0,47	0,45	0,60	0,36	0,30	0,26	0,35	0,29	0,25	0,29	0,24		
0,80	0,46	0,42	0,39	0,45	0,42	0,39	0,41	0,39	0,38	0,80	0,58	0,54	0,51	0,57	0,53	0,51	0,53	0,51	0,80	0,44	0,38	0,33	0,42	0,37	0,33	0,37	0,33		
1,00	0,51	0,47	0,45	0,50	0,47	0,44	0,46	0,44	0,43	1,00	0,62	0,59	0,56	0,61	0,58	0,56	0,58	0,56	1,00	0,50	0,44	0,40	0,49	0,43	0,39	0,43	0,39	0,37	
1,25	0,55	0,52	0,49	0,54	0,51	0,49	0,51	0,49	0,48	1,25	0,66	0,63	0,61	0,65	0,62	0,60	0,62	0,60	1,25	0,56	0,50	0,46	0,54	0,49	0,46	0,49	0,45	0,43	
1,50	0,58	0,55	0,53	0,57	0,55	0,52	0,74	0,52	0,51	1,50	0,69	0,66	0,64	0,68	0,65	0,63	0,65	0,63	1,50	0,60	0,55	0,51	0,58	0,54	0,50	0,53	0,50	0,49	
2,00	0,62	0,60	0,58	0,61	0,59	0,57	0,58	0,57	0,56	2,00	0,73	0,71	0,69	0,72	0,70	0,68	0,69	0,68	2,00	0,66	0,62	0,58	0,64	0,61	0,57	0,59	0,57	0,55	
2,50	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,61	0,60	0,58	2,50	0,76	0,74	0,72	0,74	0,73	0,71	0,72	0,71	2,50	0,70	0,66	0,63	0,68	0,65	0,62	0,64	0,61	0,59	
3,00	0,66	0,65	0,63	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,60	3,00	0,77	0,76	0,74	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	3,00	0,72	0,69	0,66	0,70	0,68	0,65	0,64	0,62	0,60	
4,00	0,68	0,67	0,66	0,67	0,66	0,65	0,65	0,64	0,62	4,00	0,79	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	4,00	0,75	0,73	0,70	0,73	0,71	0,69	0,70	0,68	0,66	
5,00	0,69	0,68	0,67	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,63	5,00	0,80	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,76	0,76	5,00	0,77	0,75	0,73	0,75	0,73	0,72	0,72	0,70	0,68	

No caso, como as lâmpadas são fluorescentes, a tabela a usar é a 8.7.

- Luminária TCS 029 D-2 TLD 32 W.
- Lâmpada de 32 W, TLDRS Philips, conforme Tabela 8.28.
- Para duas lâmpadas: $\varphi = 2 \times 2.500 = 5.000$ lumens.

Dividindo-se o fluxo luminoso total necessário, ϕ , pelo fluxo luminoso da luminária, φ , obtém-se o número n de luminárias:

$$n = \frac{\phi}{\varphi} \text{ (luminárias)}$$

Tabela 8.28 Lâmpada fluorescente TLDRS HF electronic da Philips

Código comercial	Potência (W)	Tensão na lâmpada (V)	Corrente na lâmpada (A)	Base	Cor	N.º	Fluxo luminoso (lm)	IRC	Temperatura de cor (kelvins)
TLDRS 16/64	16	74	0,265	Bipino	Branca	64	1.020	66	4.100
TLDRS 32/64	32	135	0,265	Comfort			2.500		

■ Exemplo 8.3

Projetar a iluminação de uma sala de projetos, com 18 m de comprimento, 10 m de largura e 3,0 m de pé-direito. O teto e as paredes são brancos, e a maior parte dos projetistas tem idade entre 40 e 55 anos.

Iluminância, E

Aplicação da Tabela 8.20.

- Idade dos ocupantes (40 a 55 anos): $P_1 = 0$.
- Velocidade e precisão: $P_2 = 0$.
- Refletância do fundo da tarefa: $P_3 = -1$

$$P = 0 + 0 - 1 = -1.$$

Podemos usar o valor médio, conforme explicado no item 8.7.2. Na Tabela 8.19, vimos tratarse da Faixa B, e $E = 750$ lux.

Fator do local, K (ou índice do local). Fórmula 8.10.

- Comprimento: $C = 18$ m.
- Largura: $L = 10$ m.
- Altura de luminária acima do plano de trabalho: $A = 3$ m.

$$K = \frac{C \times L}{(C + L) \times A} = \frac{18 \times 10}{(18 + 10) \times 3} = 2,14 \approx 2$$

Fatores de refletância (Tabela 8.25).

- Reflexão do teto: 70% – 7
- Reflexão das paredes: 50% – 5
- Reflexão do piso: 10% – 1

O número indicativo da refletância será 751.

Tipo de lâmpada e luminária

Admitamos luminárias Philips TCS 029 D, com duas lâmpadas fluorescentes de 32 W cada, branca comfort, conforme Tabela 8.28.

Área do local

$$S = C \times L = 18 \times 10 = 180 \text{ m}^2$$

Fator de utilização, η

Entrando na Tabela 8.26b com:

- Luminária TCS 029 D-2 TLD 32 W
- Fator do local: $K = 2,50$
- Número indicativo da refletância = 731, obtemos para o fator de iluminação: $\eta = 0,52$.

Fator de depreciação, d

Admitindo que o ambiente seja *normal* e a operação de manutenção se processe após cada 5.000 horas, teremos para o valor de d (Tabela 8.27):

$$d = 0,85$$

Fluxo total necessário, ϕ

$$\phi = \frac{S \times E}{\eta \times d} = \frac{180 \times 750}{0,52 \times 0,85} = 305.430 \text{ lumens}$$

Número de luminárias

Pela Tabela 8.28, vimos que para uma lâmpada de 32 W, branca comfort, seu fluxo luminoso é de 2.500 lumens; assim, como a luminária tem duas lâmpadas, o fluxo por ela emitido será $\varphi = 5.000$ lumens e o número de aparelhos será:

$$n = \frac{\phi}{\varphi} = \frac{305.430}{5.000} = 61 \text{ luminárias}$$

Afastamentos

Podemos considerar 10 filas de quatro luminárias, de modo que teremos:

$$A = 18 \text{ m} \div 10 = 1,80 \text{ m}$$

$$B = 10 \text{ m} \div 4 = 2,50 \text{ m}$$

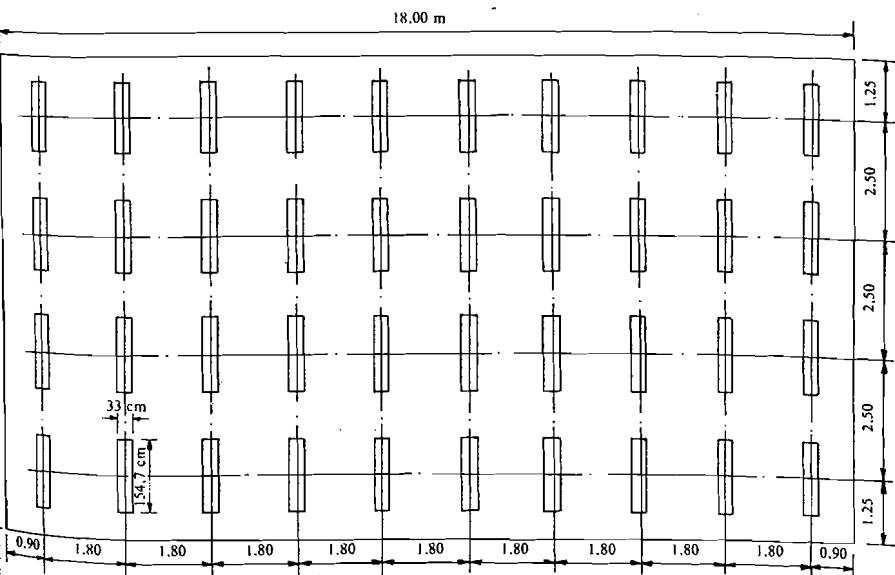


Fig. 8.31 Quarenta luminárias Philips TCS 029 D-2 TLD 32 W

8.8 ILUMINAÇÃO PELO MÉTODO DE “PONTO A PONTO”

Quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação ao plano que deve ser iluminado, pode-se admitir a fonte como puntiforme e utilizar o método do iluminamento conhecido como de “ponto a ponto”.

A lei que rege o iluminamento ponto a ponto permite o cálculo do iluminamento de um ponto de uma superfície situada a uma distância d de uma fonte luminosa puntiforme. Podemos exprimí-la dizendo que:

- O iluminamento, nas condições mencionadas, varia inversamente com o quadrado da distância d do ponto iluminado ao foco luminoso.

Ver a Fig. 8.32.

$$E = \frac{I}{d^2} = \frac{I}{h^2}$$

I = intensidade luminosa, em candelas.

d = distância do foco luminoso ao ponto (m).

E = iluminamento, em lux.

Quando o ponto iluminado da superfície não se acha na vertical do foco luminoso em relação à superfície, haverá um iluminamento no plano horizontal no qual se acha o ponto B iluminado e outro no plano vertical que passa pelo mesmo. O iluminamento E_h , no plano horizontal, é dado por:

$$E_h = \frac{I(\theta)}{d^2} \times \cos\theta = \frac{I(\theta) \times \cos^2\theta}{h^2} \quad (\text{ver Fórmula 8.3})$$

No plano vertical, o iluminamento E_v é dado por:

$$E_v = \frac{I(\theta) \times \sin\theta}{d^2} = \frac{I(\theta) \times \sin^2\theta}{h^2}$$

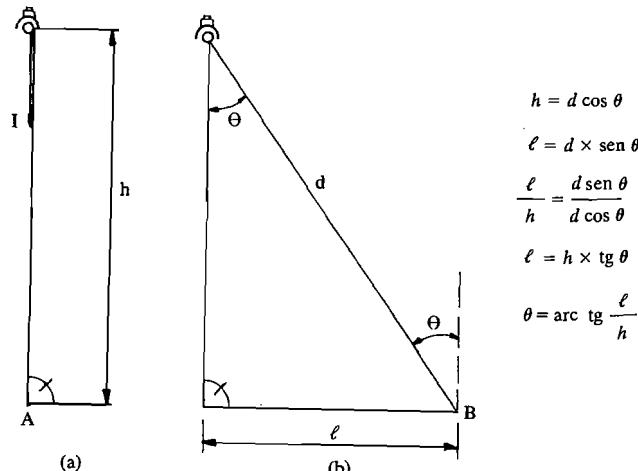


Fig. 8.32 Influência do ângulo de incidência na intensidade luminosa

Exemplo 8.4

Se usarmos a lâmpada de vapor de mercúrio HPL-N-400, de 400 W, obteremos, na Fig. 8.33:
Para $\theta = 0^\circ$, intensidade luminosa por 1.000 lumens = 208 candelas.

Os fabricantes fornecem gráficos onde se acham representadas curvas específicas das intensidades luminosas, expressas em candelas por 1.000 lumens, de acordo com os ângulos de incidência θ . A Fig. 8.33 mostra a curva de distribuição da intensidade em candelas/1.000 lumens, para a luminária Philips HDK 453, e a Tabela 8.29 indica as lâmpadas que podem ser nela usadas.

Tabela 8.29 Lâmpadas que podem ser usadas nas luminárias HDK

Tipos de lâmpadas possíveis de serem usadas	Potência (W)	Código da lâmpada	Voltagem da rede (V)	Reator (instalado fora da luminária)	Ignitor código
				Código	
Luz mista	250 500	ML 160 ML 250 ML 500	220	Não necessita	Não necessita
Vapor de mercúrio	250 80 125 400	HPL-N 250 HPL-N 80 HPL-N 125 HPL-N 400	220	RVM 250 B26 RVM 250 A26 RVM 400 B26 RVM 400 A26 RVM 700 B26 RVM 125 A26 RVM 125 B26	Não necessita
Vapor-de-sódio		SON 250 SON 400 SON 70	220		

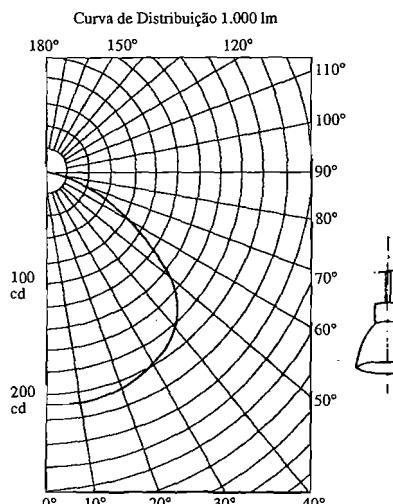


Fig. 8.33 Curva de distribuição da intensidade luminosa

Para $\theta = 30^\circ$, intensidade luminosa por 1.000 lumens = 195 candelas.
 Para $\theta = 50^\circ$, intensidade luminosa por 1.000 lumens = 142 candelas.
 Para a lâmpada em questão, o fluxo luminoso é de 22.000 lumens (Tabela 8.11). Para os ângulos acima, teremos:
 $\theta = 0^\circ, 208 \times (22.000 \div 1.000) = 4.576$ candelas.
 $\theta = 20^\circ, 205 \times 22,0 = 4.510$ candelas.
 $\theta = 30^\circ, 195 \times 22,0 = 4.290$ candelas.
 $\theta = 50^\circ, 142 \times 22,0 = 3.124$ candelas.

Suponhamos que a luminária se ache a uma altura h igual a 6 m.
 Podemos calcular os iluminamentos segundo estes ângulos.

$$E_h = \frac{I(\theta) \times \cos^3 \theta}{h^2}$$

$$\theta = 0^\circ, E_h = \frac{4.576 \times 1^3}{6^2} = 127,1 \text{ lux}$$

$$\theta = 20^\circ, E_h = \frac{4.510 \times 0,93^3}{6^2} = 100,8 \text{ lux}$$

$$\theta = 30^\circ, E_h = \frac{4.290 \times 0,866^3}{6^2} = 77,4 \text{ lux}$$

$$\theta = 50^\circ, E_h = 3.124 \times 0,642^3 = 22,9 \text{ lux}$$

■ Exemplo 8.5

Uma luminária TCS 029 T V Philips, com duas lâmpadas fluorescentes TLRS, de 40 W, branca fria, acha-se a 3,50 m acima do plano de trabalho. Qual será o iluminamento em um ponto de uma mesa, embaixo da luminária, e qual o iluminamento a 2 m afastado da vertical da luminária longitudinal do aparelho?

Solução

- a) A curva de distribuição (Fig. 8.34) mostra que, na vertical, a intensidade luminosa é de 120 cd/1.000 lm, segundo o plano B.

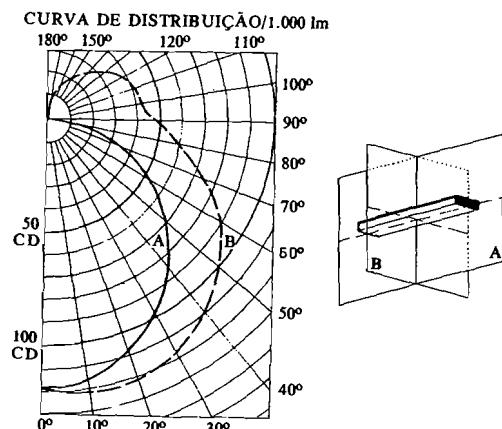


Fig. 8.34 Luminária TCS 029 T V para duas lâmpadas fluorescentes, Philips

- b) Ângulo θ . Podemos achá-lo, pois conhecemos $h = 3,50 \text{ m}$ e $l = 2,0 \text{ m}$.

$$\tan \theta = \frac{l}{h} = \frac{2,0}{3,5} = 0,571$$

$$\theta = 29,74^\circ = 29^\circ 44' = 30^\circ$$

$$\cos \theta = 0,866$$

- c) Intensidade luminosa segundo o ângulo de 30° .

Na Fig. 8.34, obtemos $I = 95 \text{ cd}/1.000 \text{ lm}$ no plano A.

- d) Intensidade luminosa para a luminária com duas lâmpadas TLRS 32/64, branca comfort. O fluxo luminoso destas lâmpadas é de 2.500 lumens, de modo que o fluxo na luminária será de $2 \times 2.500 = 5.000$ lumens, conforme Tabela 8.28.

- e) Iluminamento na mesa, na vertical da lâmpada:

$$E_{(h)} = \frac{I \times \cos^3 \theta}{h^2}$$

$$\theta = 0^\circ, \cos \theta = 1$$

Pelo item a, vimos que a intensidade luminosa na vertical é de 136 cd/1.000 lumens, de modo que teremos:

$$I = 120 \text{ cd} \times \frac{5.000}{1.000} \text{ lm} = 600 \text{ cd}$$

$$E_{(h)} = \frac{600 \times (\cos 0^\circ)^3}{3,5^2} = 49 \text{ lux}$$

- f) Iluminamento a 2 m da vertical da lâmpada (Fig. 8.33).

$$h = 3,5 \text{ m}; l = 2 \text{ m}.$$

Vimos no item c que na curva de distribuição, Fig. 8.34, para o ângulo θ de 30° , a intensidade luminosa é de 95 cd/1.000 lm.

$$I_{(30^\circ)} = 95 \times \frac{5.000}{1.000} = 475 \text{ cd}$$

$$E_{(h)30^\circ} = \frac{475 \times (0,866)^3}{3,5^2} = 25,2 \text{ lux}$$

Quando se trata de luminárias de dimensões consideráveis, como é o caso das que foram utilizadas neste exemplo, é preferível usar o *método dos lumens*.

8.9 DIAGRAMAS FOTOMÉTRICOS

Um complexo industrial ou um conjunto habitacional possui arruamentos cujo projeto de iluminação faz parte do projeto geral de instalações dos edifícios. Um projeto de iluminação de exteriores, notadamente de vias públicas, avenidas, praças, túneis e viadutos, foge aos objetivos deste capítulo. É importante, porém, fazer-se um projeto de iluminação exterior para os arruamentos mencionados no início destas considerações.

8.9.1 LUMINÁRIAS

As luminárias para iluminação pública são de tipos especiais, resistentes às intempéries, sendo algumas dotadas de alojamentos para células fotoelétricas, com o objetivo de

acendê-las e desligá-las automaticamente. Não podemos reproduzir a grande variedade de tipos que os fabricantes apresentam em seus catálogos. Achamos válido, porém, escolher um tipo que utiliza lâmpada de vapor de mercúrio, para fazermos algumas considerações sobre o método de cálculo da iluminância, com o uso dessas luminárias.

A Fig. 8.35 apresenta a luminária HRC 510 Philips, para lâmpada a vapor de mercúrio HPL-N 80 ou 125 W.

Dados fotométricos para
Lâmpada: HPL-N 125 W
Ângulo de inclinação: 5°

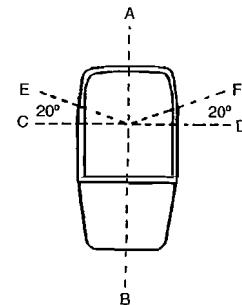


Fig. 8.35 Luminária pública HRC 510, Philips

O fabricante apresenta em seu folheto uma figura com curvas polares de distribuição de luz por 1.000 lm, para o referido aparelho, até certo ponto análogas às da Fig. 8.33. É o que se vê na Fig. 8.36.

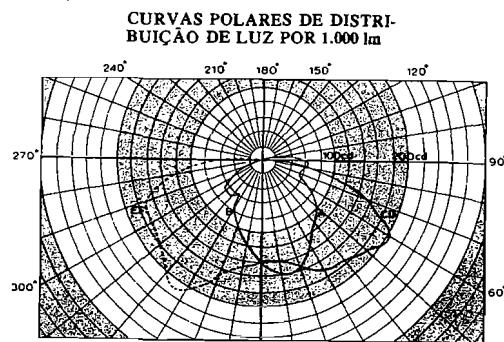


Fig. 8.36 Curvas para luminárias HPC 510, Philips

Para o iluminamento de ruas, entretanto, é mais interessante usar-se o diagrama de *curvas isolux* (de igual número de lux). Vemos na Fig. 8.37 as curvas isolux do aparelho HPC 510, com lâmpada de vapor de mercúrio HPL-N 125 W, estando o aparelho inclinado de 5° em relação ao plano horizontal.

As iluminâncias E estão representadas de forma percentual, em que 100 equivale ao valor máximo. Portanto, para se obter a iluminância de um ponto "P" qualquer, basta verificar o valor percentual neste ponto em relação ao valor máximo. As escalas referem-se ao valor de h , isto é, à altura de montagem da luminária.

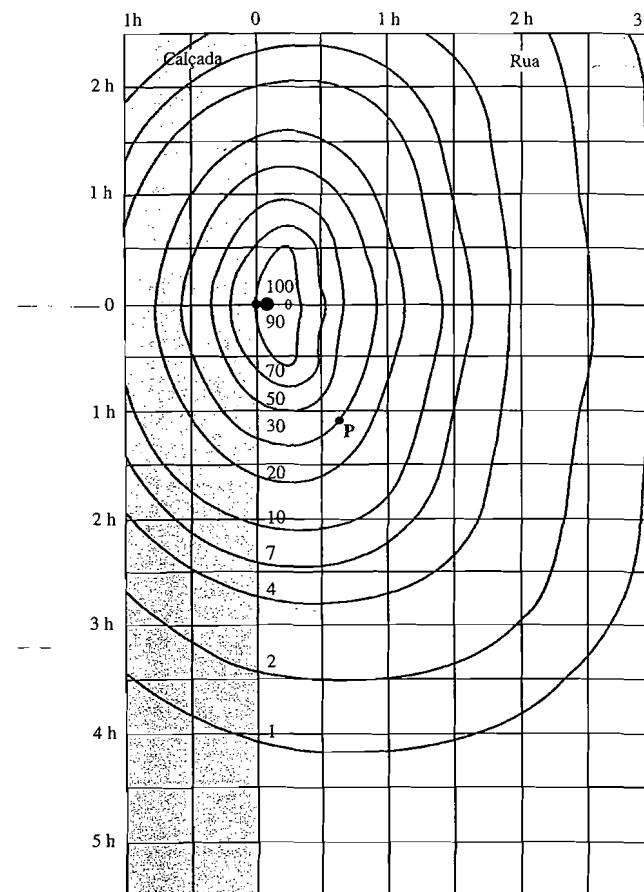


Diagrama de Curvas Isolux Relativas num Plano
 $E_{\max} = 0,145 \times \frac{\phi}{h^2}$
 ϕ = Fluxo luminoso da lâmpada em lumens
 h = Altura de montagem em metros

Fig. 8.37 Luminária HRC 510 e lâmpada HPL-N 125 W, Philips. (Curvas Isolux)

Assim, se a luminária for montada a 8 m de altura, h será igual a 8 e $2h = 16$ m, e assim por diante.

Exemplo 8.6

Qual a luminância que se poderá obter num determinado ponto P (Fig. 8.37) do solo, usando-se uma luminária HRC 510, com uma lâmpada HPL-N 125 W?

O ponto P está localizado junto à curva de percentagem 30, ou seja, E será 30% do valor máximo.

$$\text{Logo, } E = 0,30 \times E_{\max}$$

Vê-se, na parte inferior da Fig. 8.37, que

$$E_{\max} = 0,145 \times \frac{\phi}{h^2}$$

O fluxo ϕ da lâmpada HPL-N 125 W é de 6.200 lm (ver Tabela 8.11). Como a lâmpada foi suposta montada a uma altura $h = 8$ m, temos:

$$E_{\max} = \frac{0,145 \times 6.200}{8^2} \approx 14 \text{ lux}$$

Portanto,

$$E = 0,30 \times 14 = 4,2 \text{ lux}$$

Nas condições previstas, o ponto P terá uma iluminância de 4,2 lux.

Iluminação de uma rua usando a curva do fator de utilização da luminária

Na Fig. 8.38, o coeficiente de utilização, multiplicado por 100, fornece a porcentagem dos lumens da lâmpada que a luminária envia a uma faixa do solo, com largura determinada.

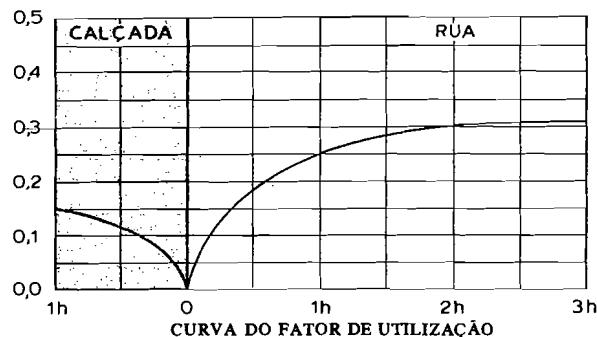


Fig. 8.38 Curva do fator de utilização para luminária HRC 510 e lâmpada HPL-N 125 W

O fator de utilização permite o cálculo imediato da quantidade de luz recebida pela calçada e pela via.

■ Exemplo 8.7

Suponhamos a mesma luminária do Exemplo 8.6, localizada a 8 m de altura, iluminando um arruamento industrial, com rua de largura $L = 8$ m e calçada de largura $l = 1,5$ m. Distância entre postes igual a 28 m.

- Altura da luminária $h = 8$ m
- Largura da rua $L = 8$ m = 1 h
- Largura do passeio $l = 1,5$ m ou $1,5 \div 8 = 0,187$ h

Com estes valores de $L = 1h$ e $l = 0,187h$, vemos, na Fig. 8.38, que os fatores de utilização são:

- Para a rua, $\eta = 0,10$
- Para a calçada, $\eta = 0,075$

Chamemos de S o espaçoamento entre postes, $S = 25$ m.
Iluminância média na rua

$$E = \frac{\phi \times \eta}{S \times L} = \frac{6.200 \times 0,10}{25 \times 8} \approx 3 \text{ lux}$$

Iluminância média na calçada

$$E = \frac{\phi \times \eta}{S \times 1} = \frac{6.200 \times 0,075}{25 \times 1,5} \approx 12 \text{ lux}$$

Em vias secundárias, a iluminância média inicial, para pistas com revestimento escuro, segundo a Norma DIN 5.044, é de 15 lux, e na época de manutenção pode ter caído a 9,6 lux.

Observamos que há necessidade de escolher uma outra luminária para atender às exigências da DIN. A Philips fabrica o modelo HRC/SRC 612, que, com uma lâmpada de 250 watts, vapor de mercúrio, nos proporciona o resultado pretendido.

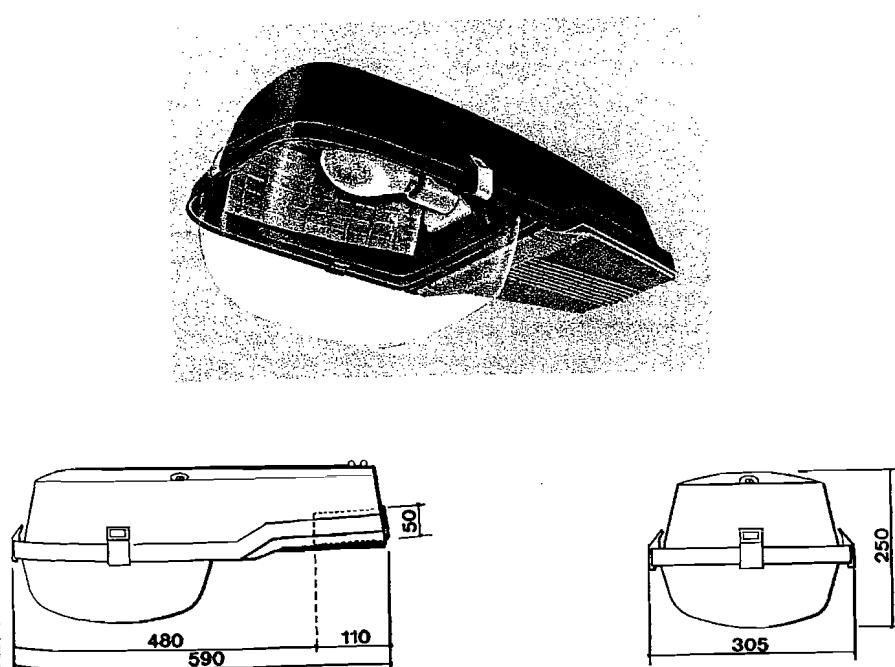


Fig. 8.39 Luminária HRC/SRC 612, Philips

8.9.2 LÂMPADAS — TENDÊNCIAS

Podemos afirmar que grandes inovações tecnológicas surgiram na pesquisa e na fabricação de lâmpadas. A Osram desenvolveu "uma nova geração de lâmpadas fluorescentes", e a Philips lançou o que considera uma "revolução na iluminação com lâmpadas fluorescentes tubulares". Essas lâmpadas fluorescentes apresentam uma redução do diâmetro, além de aumento de eficiência (lm/W) e manutenção dos lumens originais. Introduziu-se no mercado mundial a T5, com diâmetro de 16 mm. A redução de diâmetro

permitirá a redução da profundidade do fôrro e uma compactação das luminárias, tornando-as mais curtas. A eficiência das novas lâmpadas chega a 103 lm/W.

Com a nova lâmpada T5, a Philips pretende obter luminárias que preencham as condições de: maior conservação de energia, níveis de iluminância mais satisfatórios garantidos e maior uniformidade e controle de ofuscamento.

Tabela 8.30 Comparação entre o novo sistema T5 e o fluorescente trifósforo de 26 mm operando com reator eletromagnético

	Fluorescente T8 (ϕ 26 mm) com trifósforo e reator eletromagnético	Novo sistema fluorescente T5 (ϕ 16 mm)
Potência lâmpada (W) Perdas no reator	38 8	28 5
Potência consumida pelo sistema (W)	44	33

Tabela 8.31 Comparação entre as gerações de fluorescentes tubulares (baseada nas versões de 1,20 m) da Philips

	Diâmetro (mm)	Potência (W)	Fluxo luminoso e eficiência com 100 h de operação		Fluxo luminoso com eficiência 10.000 h de operação	
			(lm)	(lm/W)	(lm)	(lm/W)
Fluorescente → universal T12	38	40	2.850	72	1.995	52
Fluorescente → T8 → com pó convencional	26	36	2.850	79	1.995	57
Fluorescente → T8 → com trifósforo	26	36	3.350	93	2.850	78
Fluorescente → T8 → com trifósforo → e → reator eletrônico	26	32	3.200	100	2.720	84
Fluorescente → T8 trifósforo → de → baixa depreciação com reator eletrônico	26	32	3.200	100	3.055	95
Novo → sistema → de fluorescente → T → T5 (trifósforo, → baixa depreciação →, → com reator eletrônico)	16	28	2.900	104	2.770	99

↓ 1945

↓ 2000

Novas tecnologias*

*Na feira de Hanover, em 1995, a Osram e a Philips divulgaram intensamente a T5 (ver Tabela 8.32).

Tabela 8.32 Características das novas fluorescentes tubulares T5

	Potências			
	14W	21W	28W	35W
Fluxo luminoso (lm)	1.350	2.100	2.900	3.650
Eficiência luminosa da lâmpada (lm/W)	96	100	104	106
Comprimento (mm)	550	850	1.150	1.450

8.9.2.1 Multivapores Metálicos

Vêm substituindo as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão no segmento das maiores potências, para melhorar o reconhecimento de cores. No segmento de baixas potências, vêm substituindo as próprias halógenas, com economia de energia e maior vida útil.

A luz branca de multipolares compacta é similar à das halógenas, mas sua intensidade é muito superior. É usada em lojas e vitrines. A cor branca quente é outra vantagem das multipolares compactas. É quatro vezes mais econômica que a halógena.

A GE introduziu o tubo de arco cerâmico, com reduzida emissão de UV, que torna a lâmpada resistente a altas temperaturas. Essa tecnologia é similar à usada nas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, sendo a cor das lâmpadas uniforme e estável ao longo da vida, com um excelente índice de reprodução de cores (IRC).

A Philips recomenda também a aplicação da nova multivapores compacta à iluminação de loja e de realce, luz branca quente, de característica brilhante e natural, que não tem restrições de funcionamento.

Toda linha PAR é disponível com facho concentrado (*spot*) e com facho aberto (*flood*).

As multipolares compactas têm reduzida radiação ultravioleta (UV), porque o quartzo utilizado nessas lâmpadas é de um tipo especial que bloqueia UV, reduzindo até 500 vezes a radiação das convencionais.

A GE também dispõe de versão com reduzida emissão de UV. A Osram tem versão anti-UV: 73 W-5.500 lm e 150 W-11.200 lm.

Outra de vapor metálico PAR 38 é a da linha Metalarc, da Sylvania, de 100 W, temperatura de cor 3.200 K e fachos de 20°, 35° ou 65°.

8.9.2.2 Fluorescentes Compactas

A GE desenvolveu uma lâmpada compacta, chamada Heliax. É uma fluorescente compacta com geometria helicoidal, menor comprimento total, maior eficiência ótica, maior índice de lumens/watt por comprimento. Ideal para *retrofit* da lâmpada incandescente de uso geral.

A 32 W Heliax corresponde a uma incandescente de 100 W, com um terço de potência.

A Philips e a Osram desenvolvem lâmpadas mais potentes, em áreas de venda, aparelhos embutidos e até em iluminação externa.

8.9.2.3 Halógenas

O que poderá ocorrer no mercado brasileiro? A tendência é o emprego mais frequente das lâmpadas de 12 V, pela preocupação com a segurança. No refletor dicroíco, evoluí o revestimento (dicroicas fechadas), marcha-se rumo a lâmpadas mais eficientes, de facho mais preciso e com vida mais longa.

A norma IEC 598 prescreve que o uso das halógenas de extraalta tensão em luminárias *abertas* não seria possível, por questões de segurança.

Uma característica sempre salientada, quando da introdução das lâmpadas dicroicas, era a sua luz fria, que as tornava ideais para a iluminação de produtos termicamente sensíveis. Isso graças à remoção da maior parte do calor associado à radiação infravermelha para a parte posterior do refletor. Mas essa radiação térmica pode ocasionar problemas para a luminária, o transformador da lâmpada ou para o forro. Surgiram novas versões da dicroica, como a Coolfit, da Sylvania. A temperatura do facho de luz, graças a um filamento dispersor de infravermelho, é apenas pouco superior à de uma dicroica concebida para remoção do máximo de calor possível, enquanto o revestimento especial do refletor reduz à metade a carga térmica na luminária.

• Halógenas dicroicas

Nas lâmpadas halógenas de extraíbaixa tensão com refletor dicroico, houve melhoria no revestimento e no vidro de fechamento do refletor, de modo a evitar a diminuição da eficiência luminosa da lâmpada e ao mesmo tempo reforçar seu bloqueio à radiação UV. Todos os fabricantes têm aplicado novos e melhores revestimentos ao refletor da lâmpada dicroica.

• Halógenas à tensão da rede

Funcionando sob alimentação direta da rede, 127 V ou 220 V, essas lâmpadas não precisam do transformador exigido pelas halógenas de extraíbaixa tensão.

Maior êxito têm obtido as halógenas à tensão da rede, de rosca Edison, refletores selados em bulbos PAR 20 e PAR 30, com base E-27 e potências de 50 W e 75 W.

A Philips halógena PAR 16, com potência de 40 W, é "a mais compacta" e substitui as R50. Disponível com facho concentrado (*spot*) ou aberto (*flood*) e refletor de vidro prensado aluminizado.

A Sylvania HI-SPOT tem vida média de 2.000 h, refletor multifacetado, em espiral, e lente de fechamento clara.

No campo das halógenas à tensão da rede não-refletores, a Osram tem a Halolux, sem bulbo externo, "a menor lâmpada do gênero", disponível em 25 W e 50 W.

• Vapor de sódio a alta pressão

I — vapor de sódio clássicas, luz de tonalidade dourada ou branco-dourada.

II — lâmpadas de sódio brancas.

Tendência geral: eliminar ou minimizar o conteúdo de mercúrio das lâmpadas (preocupação ecológica).

Para aumentar a vida útil das lâmpadas de sódio AP (alta pressão) clássicas, foi acrescentado a elas mais um tubo de arco, ou seja, uma mesma lâmpada com dois arcos de tubo em paralelo, que funcionam de modo alternado. Ex.: Twinarc, da Sylvania.

• Vapor de sódio brancas (ou ultra-alta pressão)

Esse tipo de lâmpada ganhou mais espaço na iluminação externa.

A linha SON-T Deco, da Philips, é indicada pelo próprio fabricante para uso em iluminação pública e externa (ruas, praças, calçadões e edifícios monumentais). De cor branca quente (temp = 2.500 K), com um alto $IRC > 80$, potências de 150, 250 e 400 W e fluxo luminoso de 7.000, 15.000 e 25.000 lm, respectivamente.

A Colorstar DSX 2, da Osram, dispõe de um equipamento auxiliar, que utiliza as modernas técnicas eletrônicas, tanto nos circuitos de potência quanto nos de controle, contando com um microprocessador, que responde pela partida, estabilização, compensação, supervisão e desconexão (por exemplo, no fim da vida útil da lâmpada). O controle microprocessado assume e mantém todas as características da lâmpada em seu nível ótimo.

A Osram tem outro equipamento auxiliar Colorstar DSX 2, microprocessado, com dupla potência, indicado para iluminação de monumentos, edifícios e ruas.

9

Correção do Fator de Potência

9.1 FUNDAMENTOS

Vimos no item 6.5, do Cap. 6, o que significa *fator de potência*. O conceito deste fator decorre do fato de as indutâncias dos motores de indução e dos reatores e transformadores consumirem, energia reativa além da energia ativa (devido ao aquecimento dos condutores ou lâmpadas e realização de trabalho mecânico). Esta energia reativa é consequência do efeito de auto-indução na formação do campo magnético pela passagem da corrente nas bobinas dos equipamentos citados. O mesmo fato ocorre para motores síncronos, quando trabalhando subexcitados. A energia reativa não é medida pelos medidores de energia usuais, embora seja consumida, pois corresponde a uma troca de energia entre o gerador e o equipamento receptor. A energia efetivamente medida no medidor de watts hora é a *ativa* e, como vimos, a potência correspondente é medida em watts.

Se um sistema de distribuição tiver seus condutores e equipamentos dimensionados para uma certa queda de tensão e um fator de potência igual a 1, isto é, na suposição de que a potência aparente (volts \times ampères) é igual à potência ativa ou efetiva (watts), caso o fator de potência seja na realidade inferior a 1, haverá um aumento na intensidade da corrente e, como consequência, maior queda de tensão e, portanto, menor tensão nos equipamentos. Por outro lado, a alta no fator de potência provocará:

- Menor intensidade luminosa das lâmpadas.
- Maior corrente de partida nos motores de indução.

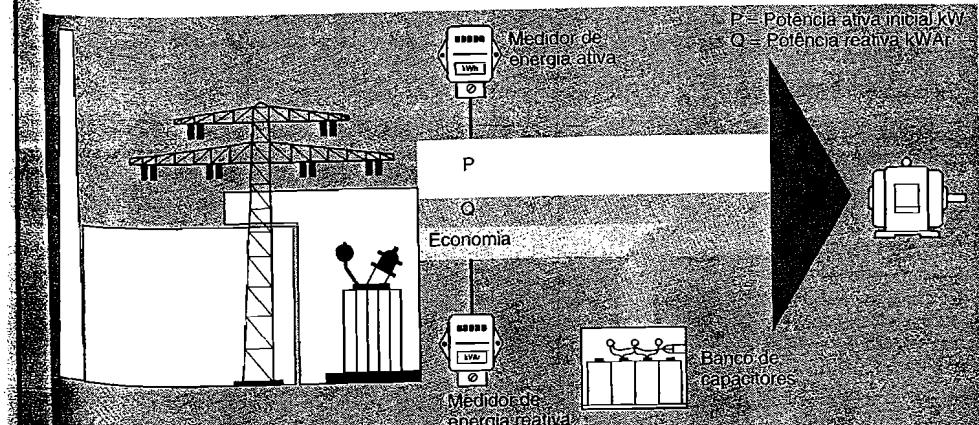


Fig. 9.1 Esquema indicando o percurso da energia que alimenta um motor, com o auxílio de banco de capacitores

c) Menor corrente nos equipamentos de aquecimento e consequente alta na temperatura de operação.

d) Funcionamento das máquinas com maior rendimento.

Em residências e escritórios, em geral, o fator de potência é bem próximo da unidade, uma vez que as cargas reativas têm grande predominância sobre as indutivas, mas o mesmo não acontece em indústrias, pois a carga indutiva, devido principalmente a motores, fornos de indução, iluminação fluorescente ou a vapor de mercúrio, pode representar parcela considerável da carga total. Esta elevada carga indutiva e consequente fator de potência baixo representa, em resumo, uma sobrecarga para a instalação industrial e, também, para a rede da empresa concessionária de energia. Pelos inconvenientes que lhe acarreta o fornecimento a um consumidor com baixo fator de potência, a Concessionária cobra uma sobretaxa incidente sobre a tarifa normal, pois esta tolera um fator de potência mínimo igual a 0,92.

9.2 NOVA LEGISLAÇÃO

É voz corrente que o setor elétrico brasileiro necessita de investimentos que deveriam ter sido feitos nos últimos 20 anos. O equilíbrio do setor está na otimização da capacidade existente de geração, transmissão, distribuição e consumo. O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) publicou a Portaria n.º 1.569, de 23/12/93, na qual se fixa o fator de potência de 0,92, em lugar do valor anterior de 0,85. A energia e demanda reativas devem ser verificadas em dois segmentos horários de uma jornada.

- 6h – 24h (reativos indutivos)
- 0h – 6h (reativos capacitivos)

■ Exemplo 9.1

Em uma indústria, a potência efetiva é de 150 kW. O fator de potência é igual a 0,65 em atraso. Qual a corrente que está sendo demandada à rede trifásica de 220 V, e qual seria a corrente se o fator de potência fosse igual a 0,92?

Solução

Tracemos o diagrama, Fig. 9.2, considerando que:

$$\varphi_1 = \text{arc cos } 0,65 = 49,46^\circ$$

$$\varphi_2 = \text{arc cos } 0,92 = 23,07^\circ$$

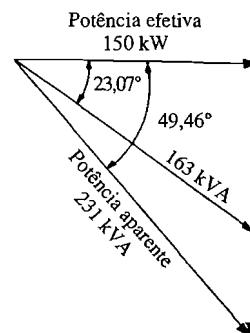


Fig. 9.2 Diagrama vetorial mostrando os elementos considerados no Exemplo 9.1

Potência aparente ou total.

$$1^{\circ} \text{ caso: } \text{kVA} = \frac{150}{0,65} = 231 \text{ kVA, para } \cos \varphi_1 = 0,65$$

$$2^{\circ} \text{ caso: } \text{kVA} = \frac{150}{0,92} = 163 \text{ kVA, para } \cos \varphi_2 = 0,92$$

Intensidade da corrente (Tabela 6.4).

$$I = \frac{\text{kVA} \times 1.000}{U \times \sqrt{3}} \text{ quando se conhece a potência em kVA}$$

$$\text{Para } \cos \varphi_1 = 0,65, I = \frac{231 \times 1.000}{220 \times \sqrt{3}} = 606 \text{ A}$$

$$\text{Para } \cos \varphi_2 = 0,92, I = \frac{163 \times 1.000}{220 \times \sqrt{3}} = 428 \text{ A}$$

Haverá, portanto, uma redução na corrente de $606 - 428 = 178$ A, com o fator de potência igual a 0,92. Com o aumento do fator de potência, a queda de tensão nos condutores diminui e melhora a eficiência de todo o sistema ligado à rede.

■ Exemplo 9.2

Suponhamos uma indústria que possua a seguinte carga instalada:

- Iluminação incandescente — 20 kW.
 - Iluminação fluorescente — demanda máxima de 100 kW, fator de potência (médio) = 0,90 (em atraso).
 - Motores de indução diversos — demanda máxima de 250 cv = 184 kW. Fator de potência (médio) = 0,80 (em atraso).
 - Dois motores síncronos de 50 cv acionando compressores, $2 \times 50 \text{ cv} = 100 \text{ cv}$, ou 73,6 kW. Fator de potência = 0,90 (em avanço).
- Calcular as potências aparente, efetiva e reativa, e o fator de potência da instalação da fábrica.

Solução

Representemos, graficamente, as cargas, sob a forma de um diagrama de blocos (Fig. 9.3).

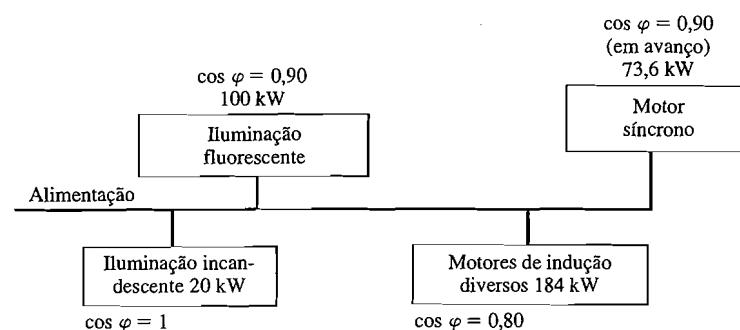


Fig. 9.3 Representação esquemática das cargas

Consideremos cada tipo de carga isoladamente.

a) Iluminação incandescente

$$P_{\text{ativa}} = 20 \text{ kW}; \cos \varphi = 1$$

$$\begin{array}{c} P_a = 20 \text{ kVA} \\ \hline P = 20 \text{ kW} \\ \cos \varphi = 1 \end{array}$$

Fig. 9.4 Diagrama vetorial mostrando os elementos considerados no Exemplo 9.2, para $\cos \varphi = 1$

b) Iluminação fluorescente e equipamentos indutivos

$$\begin{aligned} P_{\text{ativa}} &= 100 \text{ kW}; \cos \varphi = 0,90 \text{ (atraso)} \\ \varphi &= 25,84^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Potência total } P_a = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{100}{0,90} = 111 \text{ kVA}$$

$$\text{Potência reativa } P_r = P \times \operatorname{tg} \varphi = 100 \times 0,484 = 48,4 \text{ kVAr}$$

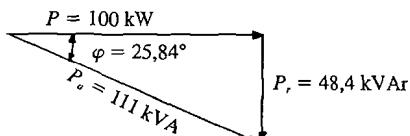


Fig. 9.5 Diagrama vetorial mostrando os elementos considerados no Exemplo 9.2, para $\cos \varphi = 0,90$ (atraso)

c) Motores de indução diversos

$$\begin{aligned} P_{\text{ativa}} &= 184 \text{ kW}; \cos \varphi = 0,80 \text{ (atraso)} \\ \varphi &= 36,87^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Potência total } P_a = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{184}{0,80} = 230 \text{ kVA}$$

$$\text{Potência reativa, } P_r = P \times \operatorname{tg} \varphi = 184 \times 0,75 = 138 \text{ kVAr}$$

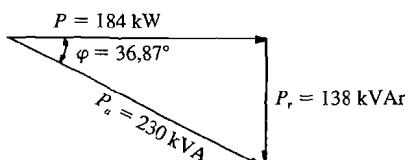


Fig. 9.6 Diagrama vetorial mostrando os elementos considerados no Exemplo 9.2, para $\cos \varphi = 0,80$ (atraso)

d) Motor síncrono

$$\begin{aligned} P_{\text{ativa}} &= 73,6 \text{ kW}; \cos \varphi = 0,90 \text{ (avanço)} \\ \varphi &= 25,84^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Potência total } P_a = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{73,6}{0,9} = 81,78 \text{ kVA}$$

$$\text{Potência reativa } P_r = P \times \operatorname{tg} \varphi = 73,6 \times 0,484 = 35,6 \text{ kVAr}$$

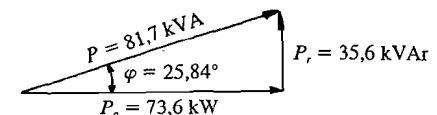


Fig. 9.7 Diagrama vetorial mostrando os elementos considerados no Exemplo 9.2, para $\cos \varphi = 0,90$ (avanço)

Somemos os vetores, considerando que o motor síncrono tem um efeito capacitivo de compensar 35,6 kVAr da potência reativa.

$$\text{Potência ativa } P = 20 + 100 + 184 + 73,6 = 377,6 \text{ kW}$$

$$\text{Potência reativa } P_r = 0 + 48,4 + 138 - 35,6 = 150,8 \text{ kVAr}$$

Representemos o diagrama com os vetores P_a e P_r

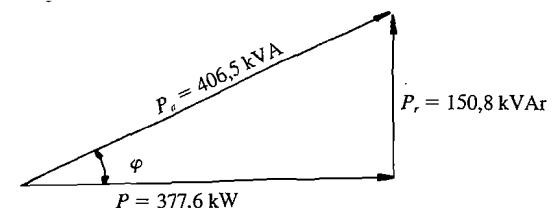


Fig. 9.8 Diagrama vetorial mostrando os elementos considerados no Exemplo 9.2, para P_a e P_r

Podemos achar o $\cos \varphi$ e P_{total}

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_r}{P} = \frac{150,8}{377,6} = 0,399$$

$$\varphi = 21,77^\circ$$

O fator de potência da instalação será:

$\cos \varphi = \cos 21,77^\circ = 0,929$; observe que o fator de potência está de acordo com a Portaria n.º 1.569, do DNAEE.

$$\operatorname{sen} \varphi = 0,370$$

Potência total da instalação completa:

$$P_a = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{377,6}{0,929} = 406,5 \text{ kVA}$$

* Se não houvesse o motor síncrono, teríamos um fator de potência bem menor que 0,929. De fato:

$$\text{Potência ativa } P = 20 + 100 + 184 = 304 \text{ kW}$$

Potência reativa $P_r = 0 + 48,4 + 138 = 186,4 \text{ kVAr}$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_r}{P} = \frac{186,4}{304} = 0,613$$

$$\varphi = 31,5^\circ$$

e

$$\cos \varphi = 0,852$$

A presença dos dois motores síncronos superexcitados, em paralelo com a carga, fez com que o fator de potência passasse de 0,852 para 0,929. Se, em vez de termos motores síncronos acionando os compressores tivéssemos motores de indução, com $\cos \varphi = 0,85$, as potências consumidas pelos dois motores seriam:

$$P_a = 73,6 \text{ kW} \div 0,85 = 86,59 \text{ kVA}$$

$$\varphi = 31,79^\circ$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,620$$

$$P_r = P \times \operatorname{tg} \varphi = 73,6 \times 0,620 = 45,62 \text{ kVAr}$$

As potências totais instaladas seriam:

$$P = 20 + 100 + 184 + 73,6 = 377,6 \text{ kW}$$

$$P_r = 0 + 48,4 + 138 + 45,62 = 232,02 \text{ kVAr}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_r}{P} = \frac{232,02}{377,6} = 0,614$$

$$\varphi = 31,57^\circ$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

Esse valor de $\cos \varphi$ não está de acordo com as exigências atuais. A correção do fator de potência para 0,92 poderia dar-se, por exemplo, com emprego de capacitores.

A potência total da instalação em estudo seria:

$$P_a = P \div \cos \varphi = 377,6 \div 0,85 = 443 \text{ kVA}$$

Vemos assim que, se os compressores fossem acionados por dois motores de indução de 50 cv em vez de motores síncronos da mesma capacidade, seria necessária uma potência adicional de

$$443 \text{ kVA} - 406,5 \text{ kVA} = 36,5 \text{ kVA}$$

Com o emprego dos motores síncronos, houve, por assim dizer, uma liberação de 36,5 kVA em benefício da rede, o que se busca hoje em todo o sistema elétrico nacional.

9.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Vimos, com os exemplos analisados, a conveniência e até a necessidade de se melhorar o fator de potência de uma instalação para atender às exigências da Concessionária e alcançar economia na despesa com a energia elétrica. Esta melhoria consegue-se instalando *capacitores* em paralelo com a carga, de modo a reduzirem a potência reativa obtida da rede externa.

Suponhamos que uma instalação tenha uma carga instalada, tal como a representada na Fig. 9.9 a.

Existe uma potência efetiva P e, em consequência do fator de potência $\cos \varphi_1$, a potência aparente ou total é P_a . Pretendemos reduzir o fator de potência, o que equivale a

reduzir a componente reativa P_{r1} da potência para o valor P_{r2} (Fig. 9.9 b), mantendo, porém, o mesmo valor da potência efetiva P . Façamos a superposição dos diagramas (Fig. 9.9 c).

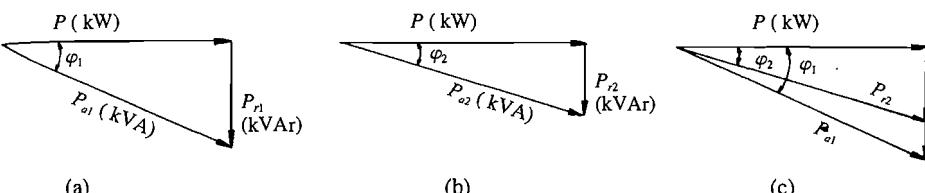


Fig. 9.9 Diagrama vetorial mostrando o benefício em melhorar o fator de potência

Podemos escrever:

$$P_{r1} = P \times \operatorname{tg} \varphi_1$$

$$P_{r2} = P \times \operatorname{tg} \varphi_2$$

Para reduzir a potência reativa de P_{r1} para P_{r2} , deverá ser ligada uma *carga capacitativa* igual a:

$$P_{r1} - P_{r2}, \text{ ou seja,}$$

$$P_c = P_{r1} - P_{r2} = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad 9.1$$

Embora não haja a menor dificuldade em aplicar fórmula tão simples, pode-se, contudo, utilizar a Tabela 9.1, que fornece o multiplicador ($\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2$) em função do fator de potência original ($\cos \varphi_1$) e daquele que se pretende obter ($\cos \varphi_2$).

Exemplo 9.3

Uma indústria tem instalada uma carga de 200 kW. Verificou-se que o fator de potência é igual a 85% (em atraso).

Qual deverá ser a potência (kVAr) de um capacitor que, instalado, venha a reduzir a potência reativa, de modo que o fator de potência atenda às prescrições da Concessionária, isto é, seja igual (no mínimo) a 92%?

Solução

Potência ativa: $P = 200 \text{ kW}$

$$\cos \varphi_1 = 0,85. \text{ Logo, } \varphi_1 = 31,78^\circ \text{ e } \operatorname{tg} \varphi_1 = 0,619$$

$$\cos \varphi_2 = 0,92. \text{ Logo, } \varphi_2 = 23,07^\circ \text{ e } \operatorname{tg} \varphi_2 = 0,425$$

Portanto, usando a Fórmula 9.1, teremos para a potência reativa a ser compensada pelo capacitor:

$$P_c = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 200 (0,619 - 0,425) = 38,8 \text{ kVAr}$$

Podemos usar a Tabela 9.1. Entrando com $\cos \varphi_1 = 0,85$ e $\cos \varphi_2 = 0,92$, obtemos $(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 0,191$.

$$P_c = 200 \times 0,191 = 38,2 \text{ kVAr}$$

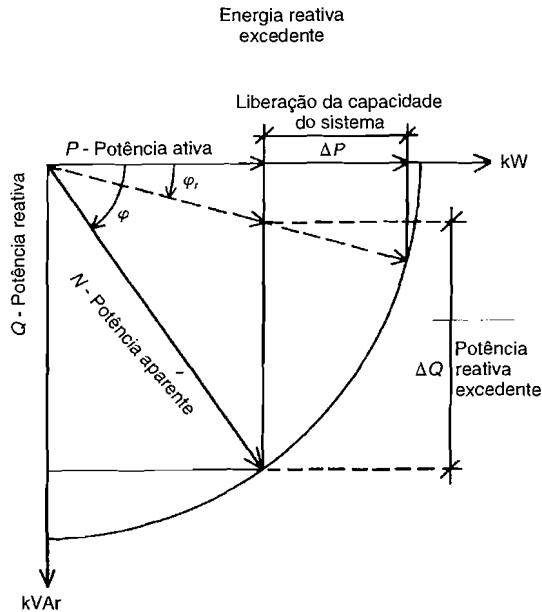


Fig. 9.11 Esquema vetorial indicando os parâmetros que atuam na correção do fator de potência

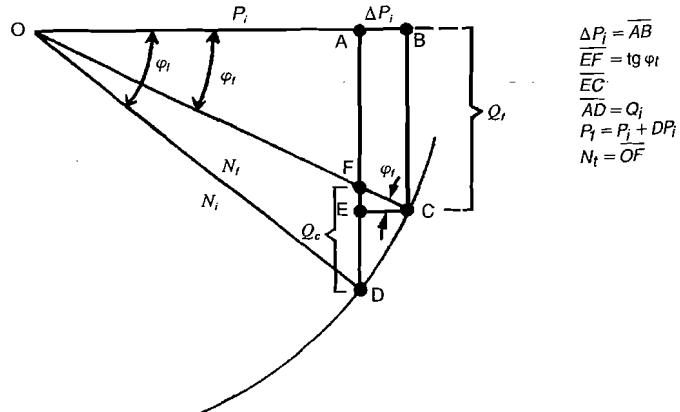


Fig. 9.12 Representação geométrica da potência ativa através da diminuição da potência reativa

Seja ΔP_i o acréscimo de potência ativa pretendida. Vejamos que redução na potência reativa deverá ser realizada. Marquemos o valor de $\Delta P_i = \overline{AB}$, no prolongamento de \overline{OA} . Levantemos uma perpendicular a \overline{OB} pelo ponto B, até o ponto C, sobre a circunferência de raio $\overline{OD} = N_i$; \overline{BC} vem a ser a potência reativa quando a potência ativa for igual a $P_i + \Delta P_i$, isto é, quando tiver ocorrido o acréscimo ΔP_i .

Tracemos \overline{CE} paralelo a \overline{AB} . \overline{DF} será a redução na potência reativa a ser obtida com o capacitor, para se obter a potência ativa $P_i + \Delta P_i$ e a reativa \overline{BC} . Para calcularmos \overline{DF} , notemos que:

$$\frac{\overline{DF}}{\overline{AF}} = \frac{\overline{AD}}{\overline{AE}} - \frac{\overline{AF}}{\overline{EF}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{EC}} - \frac{\overline{EF}}{\overline{EC}}$$

$$\frac{\overline{EF}}{\overline{DF}} = \frac{\overline{EC}}{\overline{AD}} \times \tg \varphi_{final} \\ \overline{DF} = \frac{\overline{AD}}{\overline{AD}} - (\overline{BC} - \frac{\overline{EC}}{\overline{EC}} \times \tg \varphi_{final})$$

ou

$$Q_c = Q_i - (Q_{final} - \Delta P_i \times \tg \varphi_{final})$$

Exemplo 9.4

Uma indústria tem instalada uma subestação com um transformador de 750 kVA, que opera a plena carga, e com fator de potência = 0,85. Pretende-se instalar equipamentos cuja potência total é de 60 kW, com fator de potência de 0,83, sem recorrer a reforço de carga e substituição no transformador ou sem submetê-lo a sobrecarga excessiva. Determinar o capacitor estático capaz de alcançar esse objetivo.

Solução

a) Carga inicial

- potência total — $N_i = 750$ kVA
- fator de potência — $\cos \varphi_i = 0,85$ e $\varphi_i = 31,79^\circ$

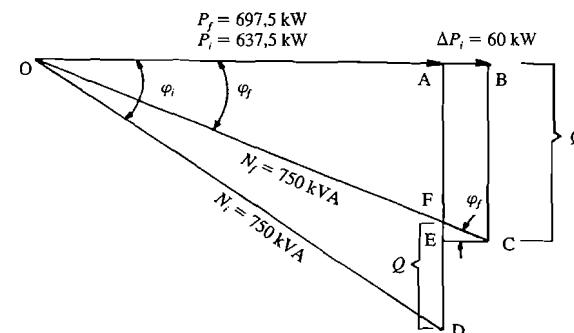


Fig. 9.13 Diagrama da solução do Exemplo 9.4

- potência ativa — $P_i = N_i \cos \varphi_i = 750 \times 0,85 = 637,5$ kW
- potência reativa — $Q_i = N_i \sen \varphi_i = 750 \times 0,526 = 395$ kVAr

b) Acréscimo de carga

- potência ativa — $\Delta P_i = 60 \text{ kW}$
- fator de potência — $\cos \varphi_i = 0,83$ e $\varphi_i = 33,90^\circ$
- potência total — $\Delta N_i = \Delta P_i / \cos \varphi_i = 60 / 0,83 = 72,3 \text{ kVA}$
- potência reativa — $\Delta Q_i = \Delta P_i \times \operatorname{tg} \varphi_i = 60 \times 0,67 = 40,2 \text{ kVAr}$

c) Carga final, após o acréscimo

- potência ativa — $P_f = P_i + \Delta P_i = 637,5 + 60 = 697,5 \text{ kW}$
- potência total final. É a mesma que a inicial, pois a potência de 750 kVA não deverá ser ultrapassada.

$$N_f = N_i = 750 \text{ kVA}$$

$$\text{Fator de potência } \cos \varphi_f = \frac{P_f}{N_f} = \frac{697,5}{750} = 0,93$$

$$\varphi_f = 21,57^\circ$$

A potência reativa, após a instalação dos capacitores, será:

$$Q_f = \overline{BC} = P_f \times \operatorname{tg} \varphi_f = 697,5 \times 0,395 = 275,7 \text{ kVAr}$$

A redução na potência reativa, que deverá ser obtida com os capacitores, fornece uma potência reativa capacitativa.

$$\begin{aligned} Q_c &= \overline{DF} = Q_i - (Q_f - \Delta P_i \times \operatorname{tg} \varphi_f) \\ &= 395 - [275,7 - (60 \times 0,395)] = 143 \text{ kVAr} \end{aligned} \quad 9.3$$

Concluindo, os capacitores deverão atender ao suprimento de 143 kVAr. Não havendo um único capacitor com esta capacidade, pode-se usar um banco com capacitores em paralelo.

Quando se aumenta o fator de potência de um sistema, a corrente de alimentação diminui e, como resultado, as perdas de potência, por *efeito joule*, nos condutores, também se reduzem.

Suponhamos uma alimentação de corrente para uma carga de consumo de P (watts). Representemos uma das fases, para maior simplicidade na exposição.

A tensão de suprimento é de U_1 (volts), mas, devido à resistência (ohms) do circuito, ao chegar à carga, a tensão terá o valor U_2 (volts), inferior a U_1 , devido à queda de tensão no percurso.

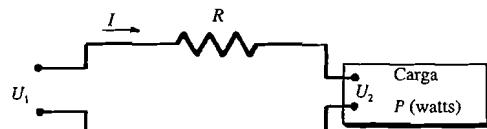


Fig. 9.14 Esquema elétrico que indica a queda de tensão num circuito com resistência.

Devido à correção do fator de potência, estas perdas podem ser minimizadas.

Esta variação é dada por:

$$\frac{\Delta P_i - \Delta P_f}{\Delta P_i} = \Delta P = \left[1 - \left(\frac{\cos \varphi_i}{\cos \varphi_f} \right)^2 \right] \times 100\% \quad 9.4$$

onde ΔP_i é a perda com fator de potência $\cos \varphi_i$ e ΔP_f é a perda com fator de potência $\cos \varphi_f$.

■ Exemplo 9.5

Uma indústria cujo fator de potência é 0,77 consome anualmente 100.000 kWh. Pretende-se melhorar o fator de potência instalando capacitores, de modo que o fator de potência se eleve para 0,95. Qual a redução de kWh anual, admitindo que as perdas por efeito joule representam 4% do consumo?

Solução

Na instalação existente, $\cos \varphi_i = 0,77$.

Após a correção com capacitores, $\cos \varphi_f = 0,95$.

Perdas por efeito joule: $0,04 \times 100.000 = 4.000 \text{ kWh}$.

A redução percentual das perdas, graças aos capacitores, será:

$$\Delta P = \left[1 - \left(\frac{\cos \varphi_i}{\cos \varphi_f} \right)^2 \right] \times 100 = \left[1 - \left(\frac{0,77}{0,95} \right)^2 \right] \times 100 = 34,3\%$$

Anualmente, teremos uma redução nas perdas por dissipação, sob forma de calor, igual a $0,343 \times 4.000 = 1.372 \text{ kWh}$.

9.5 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

Como já foi mencionado, em geral são usados capacitores. Os motores síncronos, quando acionam compressores, bombas etc., beneficiam a instalação mas não representam a solução usual para o caso. Por isso vamos limitar-nos a tratar dos capacitores.

• CAPACITORES

São dispositivos estáticos (Fig. 9.10), cujo objetivo é introduzir capacidade em um circuito elétrico, compensando ou neutralizando o efeito de indução das cargas indutivas. São especificados pela sua potência reativa nominal e podem ser monofásicos e trifásicos, para alta e baixa tensões, conforme a Tabela 9.2.

Os capacitores devem ser localizados o mais próximo possível das cargas (C_1 , na Fig. 9.15), pois reduzem, assim, as perdas nos circuitos elétricos, elevam a tensão nos pontos de consumo, melhoram as condições de funcionamento e aliviam a solicitação do transformador.

Tabela 9.2 Capacitores estáticos industriais

Baixa tensão	Alta tensão
220, 380, 440, 480 V	2.200, 3.800, 6.640, 7.620, 7.960, 12.700, 13.200 V
Monofásico e trifásico	Monofásico e trifásico
60 Hz	60 Hz
0,50 a 30 kVAr	25, 50 e 100 kVAr

Não é viável, muitas vezes, a instalação de um capacitor junto a cada equipamento elétrico porque o custo seria elevado e poderia não haver capacitors comerciais nos valores das cargas, consideradas isoladamente. Ocorre, em geral, uma diversificação no consumo, e prefere-se, então, colocar um capacitor no barramento de baixa tensão (C_2 , na Fig. 9.15) ou em ramal que alimenta diversas cargas (C_3 , na mesma figura).

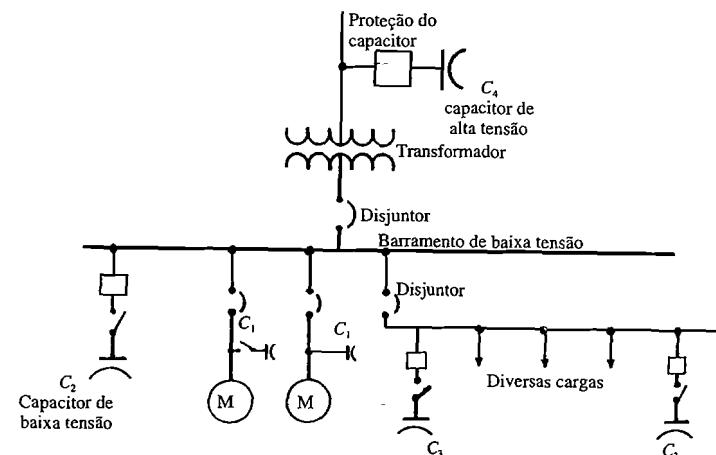


Fig. 9.15 Localização de capacitores

Como o custo dos capacitores decresce com o aumento da tensão, há vantagem, sob este aspecto, em colocá-los no lado da maior tensão, mas a instalação na alta tensão do transformador (C_4 , na Fig. 9.15) não proporciona liberação de capacidade no próprio transformador. A Fig. 9.16 mostra os dados dos capacitores tipo CPNW, da WALTEC.

9.6 PRESCRIÇÕES PARA INSTALAÇÃO DE CAPACITORES

9.6.1 Quando empregados individualmente para servir a um motor elétrico, o capacitor pode ser ligado sem necessidade de um dispositivo de desligamento (Fig. 9.17).

9.6.2 Quando o conjunto motor-capacitor for manobrado por um único disjuntor (Figs. 9.18a e 9.18b), a potência reativa do capacitor não deve ser superior ao valor indicado na Tabela 9.3. Assim, um motor de 15 cv poderá ter um capacitor em paralelo, com capacidade reativa de 4 kVAr se a rotação for de 3.600 ou 1.800 rpm.

9.6.3 Os condutores de ligação do capacitor deverão ter capacidade para, no mínimo, 135% de corrente nominal do capacitor.

9.6.4 Sistema automático de correção de fator de potência.

- O controle será feito utilizando controlador lógico programável.
- A comutação dos estágios de capacitores será feita utilizando contatores.
- O sistema é composto de um banco fixo de 20 kVAr e três bancos móveis de 25 kVAr.
- O fluxo de potência reativa parcial será comparado com a medição geral, a fim de se introduzir potência capacitiva nos barramentos em que se fizerem necessários.
- O sistema é composto de interface homem-máquina para monitorar os parâmetros de rede.

Capacitores trifásicos — tipo CPMW						
Tipo	Potência nominal (kVar)	Corrente nominal (A)	Capacitância trifásica (μF)	Caixa tipo	Peso (kg)	Fusível (A)
Tensão nominal: 220 V — 60 Hz						
CPNW22/2,5	2,5	6,6	137	3	1,3	10
CPNW22/5	5	13,1	274	3	5,8	25
CPNW22/7,5	7,5	19,7	412	4	6,0	35
CPNW22/10	10	26,2	549	4	6,8	50
CPNW22/12,5	12,5	32,8	686	5	7,2	63
CPNW22/15	15	39,4	823	5	7,5	63
CPNW22/17,5	17,5	46,0	960	5	10,3	80
CPNW22/20	20	52,5	1096	5	10,6	100
CPNW22/22,5	22,5	59,1	1233	6	10,9	100
CPNW22/25	25	65,6	1371	6	11,7	125
CPNW22/27,5	27,5	72,2	1508	6	12,0	125
CPNW22/30	30	78,7	1644	6	12,3	160
Tensão nominal: 380 V — 60 Hz						
CPNW38/2,5	2,5	3,8	46	3	1,3	10
CPNW38/5	5	7,6	93	3	5,7	16
CPNW38/7,5	7,5	11,4	139	3	6,6	20
CPNW38/10	10	15,2	186	3	6,5	25
CPNW38/12,5	12,5	19,0	232	4	7,4	35
CPNW38/15	15	22,8	279	4	7,3	35
CPNW38/17,5	17,5	26,6	326	5	10,2	50
CPNW38/20	20	30,4	372	4	8,0	50
CPNW38/22,5	22,5	34,2	418	5	11,0	63
CPNW38/25	25	38,0	465	5	11,0	63
CPNW38/27,5	27,5	42,3	512	5	11,9	80
CPNW38/30	30	45,6	558	5	11,7	80
CPNW38/35	35	53,2	651	5	12,7	100
CPNW38/40	40	60,8	744	5	13,4	100
CPNW38/45	45	68,4	837	6	16,3	125
CPNW38/50	50	76,0	930	6	17,0	125
CPNW38/55	55	84,6	1023	6	18,0	160
CPNW38/60	60	92,3	1116	6	18,8	160
Tensão nominal: 440 V — 60 Hz						
CPNW44/2,5	2,5	3,3	34	3	1,3	6
CPNW44/5	5	6,6	69	3	5,6	16
CPNW44/7,5	7,5	9,8	103	3	6,5	16
CPNW44/10	10	13,1	138	3	6,4	25
CPNW44/12,5	12,5	16,4	172	4	7,3	25
CPNW44/15	15	19,7	207	4	7,2	35
CPNW44/17,5	17,5	23,0	242	5	10,1	35
CPNW44/20	20	26,2	276	4	7,9	50
CPNW44/22,5	22,5	29,5	310	5	10,8	50
CPNW44/25	25	32,8	345	5	10,8	63
CPNW44/27,5	27,5	36,3	380	5	11,8	63
CPNW44/30	30	39,4	414	5	11,5	63
CPNW44/35	35	46,0	483	5	12,4	80
CPNW44/40	40	52,5	552	5	13,1	100
CPNW44/45	45	59,1	621	6	16,0	100
CPNW44/50	50	65,6	690	6	16,7	125
CPNW44/55	55	72,2	759	6	17,7	125
CPNW44/60	60	78,7	828	6	18,3	160

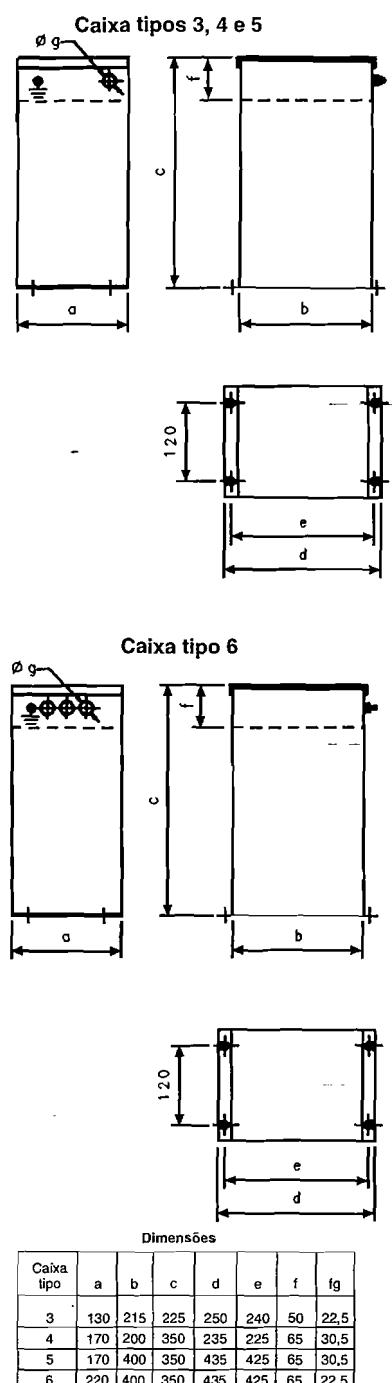


Fig. 9.16 Capacitores tipo CPNW da WALTEC Eletro-Eletrônica Ltda.

Tabela 9.3 Potência de capacitores para ligação com motores de indução em curto-círcuito — 60 Hz
 $\Delta I\%$ = redução percentual da corrente de linha ocasionada pelos capacitores

Motores de 60 Hz com rotor em curto-círcuito (motores de gaiola)												
RPM	3.600		1.800		1.200		900		720		600	
Pólos	2		4		6		8		10		12	
Potência do motor HP	kVAr	$\Delta I\%$	kVAr	$\Delta I\%$	kVAr	$\Delta I\%$	kVAr	$\Delta I\%$	kVAr	$\Delta I\%$	kVAr	$\Delta I\%$
3	1,5	14	1,5	15	1,5	20	2	27	2,5	35	3,5	41
5	2	12	2	13	2	17	3	25	4	32	4,5	37
7,5	2,5	11	2,5	12	3	15	4	22	5,5	30	6	34
10	3	10	3	11	3,5	14	5	21	6,5	27	7,5	31
15	4	9	4	10	5	13	6,5	18	8	23	9,5	27
20	5	9	5	10	6,5	12	7,5	16	9	21	12	25
25	6	9	6	10	7,5	11	9	15	11	20	14	23
30	7	8	7	9	9	11	10	14	12	18	16	22
40	9	8	9	9	11	10	12	13	15	16	20	20
50	12	8	11	9	13	10	15	12	19	15	24	19
60	14	8	14	8	15	10	18	11	22	15	27	19
75	17	8	16	8	18	10	21	10	26	14	32,5	18
100	22	8	21	8	25	9	27	10	32,5	13	40	17
125	27	8	26	8	30	9	32,5	10	40	13	47,5	16
150	32,5	8	30	8	35	9	37,5	10	47,5	12	52,5	15
200	40	8	37,5	8	42,5	9	47,5	10	60	12	65	14
250	50	8	45	7	52,5	8	57,5	9	70	11	77,5	13
300	57,5	8	52,5	7	60	8	65	9	80	11	87,5	12
350	65	8	60	7	67,5	8	75	9	87,5	10	95	11
400	70	8	65	6	75	8	85	9	95	10	105	11
450	75	8	67,5	6	80	8	92,5	9	100	9	110	11
500	77,5	8	72,5	6	82,5	8	97,5	9	107,5	9	115	10

kVAr — Potência do capacitor.

$\Delta I\%$ — Redução percentual da corrente de linha.

Notas:

1. Motores de anéis, multiplicar os valores da tabela por 1,1.

2. Para motores de corrente de partida elevada, multiplicar os valores da tabela por 1,3.

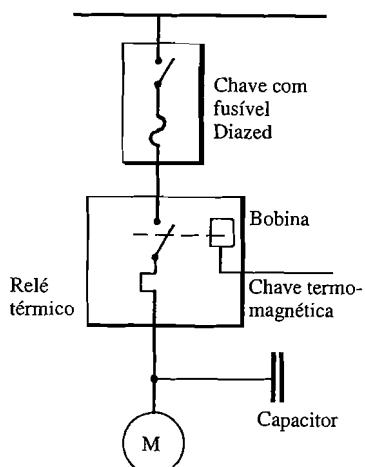


Fig. 9.17 Ligação de capacitor em ramal de motor

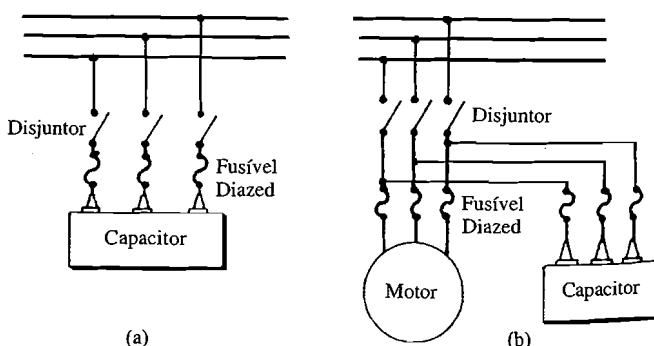


Fig. 9.18a Capacitor com chave e fusíveis individuais
 Fig. 9.18b Capacitor com fusíveis ligado a um motor

Tabela 9.4 Capacitores trifásicos de baixa tensão

Tensão de linha (V)	Potência (kVAr) a 60 Hz	Capacitância nominal (μF)	Corrente de linha (A) a 60 Hz	Fusível (A)		Fio de ligação (mm ²)	Chave mínima (A)
				Diazed retard.	Cartucho		
220	5,0	275	13,2	25	25	4	25
	6,0	330	15,8	35	30	6	30
	7,5	412	19,8	35	35	6	35
	10,0	550	26	50	45	10	45
	12,0	660	32	50	60	16	55
	15,0	825	39	63	70	16	65
	20,0	1 158	52	80	90	25	90
	25,0	1 370	65,5	100	100	25	100
	5,0	92	7,6	16	15	2,5	15
	6,0	110	9,1	16	15	2,5	15
380	10,0	184	15,2	25	25	4	25
	12,0	221	18,2	35	30	6	30
	15,0	276	23	50	40	6	40
	18,0	331	27	50	45	10	45
	20,0	368	30	50	50	10	50
	24,0	442	36	63	60	16	60
	25,0	460	38	63	70	16	65
	30,0	550	46	80	80	25	80
	40,0	736	50	100	100	25	100
	50,0	920	76	100	100	35	100
440	5,0	69	6,6	16	15	2,5	15
	6,0	83	7,9	16	15	2,5	15
	10,0	138	13,2	25	25	4	25
	12,0	166	15,8	35	30	6	30
	15,0	207	19,8	35	35	6	35
	20,0	276	26	50	45	10	45
	25,0	345	33	50	60	16	55
	30,0	414	39	63	70	16	65
	40,0	552	52	80	80	25	90
	50,0	690	66	100	100	35	100
480	5,0	57	6,0	10	10	2,5	10
	6,0	69	7,2	16	15	2,5	15
	10,0	114	12,0	20	20	4	20
	12,0	138	14,4	25	25	4	25
	15,0	171	18,0	35	30	6	30
	20,0	228	24	50	40	10	40
	25,0	285	30	50	50	10	50
	30,0	342	36	63	60	16	60
	40,0	456	48	80	80	25	90
	50,0	570	60	100	100	25	100

Exemplo 9.6

Dimensionar os condutores para um capacitor trifásico, ligado a um ramal de motor de indução de 50 cv, 380 V, 1.200 rpm.

Solução

A Tabela 9.3 fornece-nos, para 50 HP (1 HP = 1.013 cv) e 1.200 rpm, potência reativa do capacitor igual a 13 kVAr.

A corrente será dada por:

$$I = \frac{P_r}{\sqrt{3} \times U} = \frac{13.000}{\sqrt{3} \times 380} = 19,75 \approx 20 \text{ A}$$

Corrente para dimensionamento do condutor de ligação:

$$I_c = 1,35 \times I = 1,35 \times 20 = 27,0 \text{ A}$$

Pela Tabela 9.4, vemos que para $U = 380 \text{ V}$, $P_r = 20 \text{ kVAr}$, deveremos usar fusível Diazed de 50 A, fio de ligação de 10 mm² e chave de 50 A (mínimo). A chave e os fusíveis podem ser dispensados, desde que a ligação do capacitor seja feita após a chave de proteção e os fusíveis de motor (Figs. 9.17 e 9.18).

Exemplo 9.7

A conta de energia elétrica de uma indústria revelou o consumo de 58.000 kWh e indicou um fator de potência de 0,82. A alimentação em baixa tensão é de 380 V entre fases. A frequência da corrente é 60 Hz. Determinar os capacitores que deverão ser instalados no barramento de baixa, a fim de se conseguir melhorar o fator de potência para 0,92. A indústria trabalha 250 horas por mês.

Solução

- 1) *Consumo médio horário*
Potência ativa medida

$$P = 58.000 \text{ kWh} \div 250 \text{ h} = 232 \text{ kW}$$

- 2) Entrando na Tabela 9.1, com $\cos \varphi_1 = 0,82$ e $\cos \varphi_2 = 0,90$, obtemos o multiplicador, 0,214, para acharmos a potência reativa $P_r \cdot P_s = 0,214 \times 232 = 49,648 \text{ kVAr} \approx 50 \text{ kVAr}$.
- 3) Na Tabela 9.4, vemos que existe um capacitor para 50 kVAr, com 920 microfarads (μF), corrente no ramal de 76 A, fusível Diazed de 100 A, cabo de ligação de 35 mm², chave de 100 A.

9.6.5 Os capacitores devem ser providos de meios de descarga elétrica, e estes devem ser aplicados quando o capacitor for desligado da linha alimentadora. Quando não ficam permanentemente ligados ao capacitor, deverão ligar-se, automaticamente, no instante do desligamento da fonte.

9.6.6 Os capacitores devem ter suas carcaças ligadas à terra.

9.7 ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Existem capacitores monofásicos e trifásicos, instalados em postes ou internamente, constituindo os “bancos de capacitores”. Cada capacitor pode ter sua chave desligadora e seus fusíveis Diazed (Fig. 9.20). Há casos em que se recomenda uma única chave para o conjunto de capacitores (Fig. 9.21).

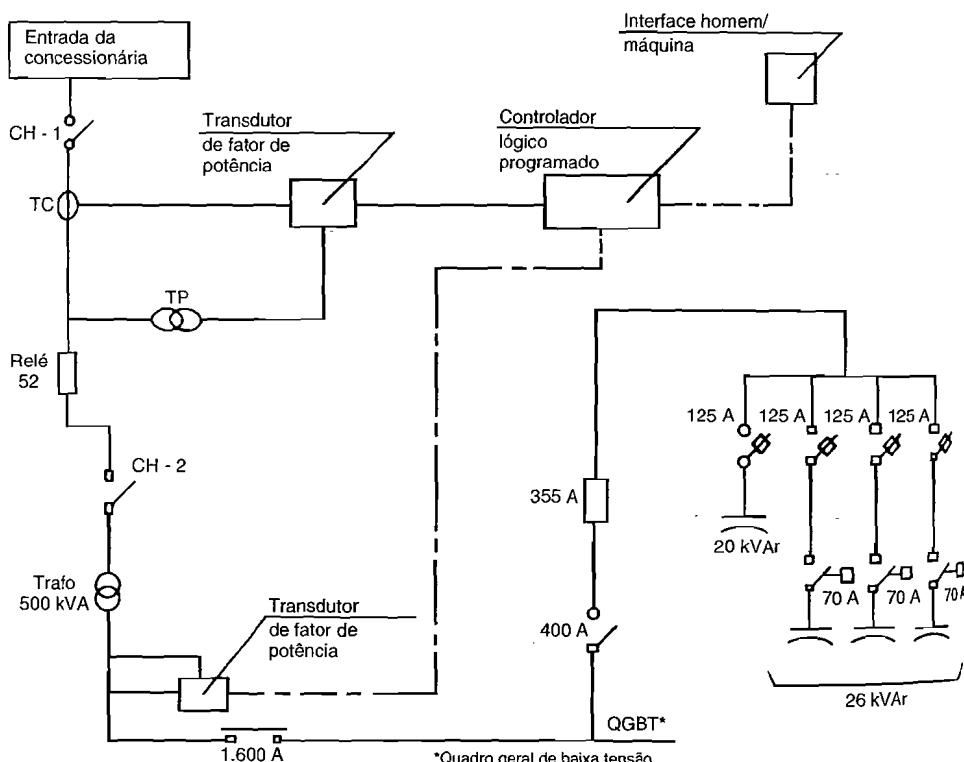


Fig. 9.19 Exemplo de aplicação de capacitores e banco de capacitores, com correção automática ou manual

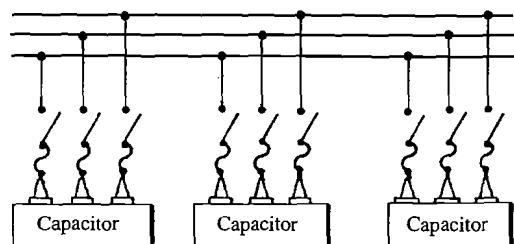


Fig. 9.20 Conjunto de três capacitores trifásicos com chaves e fusíveis individuais

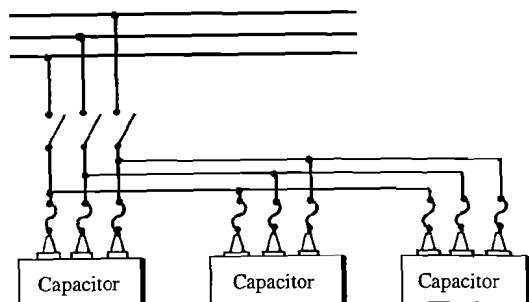


Fig. 9.21 Conjunto de três capacitores trifásicos com chave única e fusíveis individuais

Quando a carga reativa a compensar for elevada, será necessário instalar um "banco", constituído por capacitores trifásicos, em paralelo. As capacitâncias destes equipamentos somam-se, isto é,

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Em fornos elétricos de redução, usam-se capacitores em série com a bobina de indução.

9.8 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Em algumas indústrias, usa-se um aparelho que registra graficamente a variação do cos φ.

Na maioria das vezes, no entanto, a associação de um wattímetro e um medidor de potência total, em kVA, ou de potência reativa, em kVAr, fornece-nos o mesmo resultado. No primeiro caso, calcula-se o fator de potência por:

$$\cos \varphi = \frac{P \text{ (watts)}}{N \text{ (kVA)}}$$

e no seguinte,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q \text{ (kVAr)}}{P \text{ (watts)}}$$

Obtido φ, calcula-se o fator de potência cos φ.

Todo excesso de energia reativa é prejudicial ao sistema elétrico, seja o reativo indutivo, absorvido pela unidade consumidora, ou reativo capacitivo, fornecido à rede pelos capacitores dessa unidade.

O controle consiste em manter o fator de potência da unidade consumidora dentro da faixa do fator de potência indutivo 0,92 até o 0,92 capacitivo.

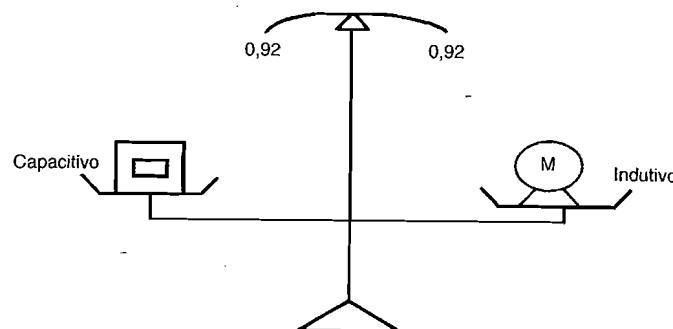


Fig. 9.22 Esquema indicando o equilíbrio desejado entre a energia capacitiva e a energia indutiva

Nas instalações com correção de fator de potência através de capacitores, os mesmos devem ser desligados, conforme se desativam as cargas indutivas, de forma a manter uma compensação equilibrada entre reativo indutivo e capacitivo.

A Concessionária aplicará ao excedente de reativo capacitivo os mesmos critérios de faturamento aplicados ao excedente indutivo.

10 Pára-raios Prediais

10.1 ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA

As nuvens são formadas por uma quantidade incomensuravelmente grande de partículas de água. Em virtude de correntes e turbulências atmosféricas, as partículas se atritam e colidem, comportando-se, então, como minúsculas baterias nas quais se acumula uma carga elétrica, positiva ou negativa. As cargas elétricas negativas, normalmente, acumulam-se na parte baixa das nuvens. Isto significa que estas camadas inferiores das nuvens se acham com potencial negativo em relação ao solo, cuja carga é positiva. Como as cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, a nuvem, com carga negativa, repele os elétrons (sinal negativo) existentes na superfície do solo, abaixo dela. Deste modo, a carga positiva induzida na superfície do solo assume o mesmo valor da carga negativa da nuvem. Ao mesmo tempo que a nuvem se desloca, a zona de carga positiva no solo a acompanha.

Vemos, assim, que a nuvem e a superfície da terra se comportam como um capacitor, dotado de carga elétrica muito grande. Como a camada de ar que as separa é quase um isolante perfeito, isto é, possui elevada rigidez dielétrica, pode não ocorrer nenhuma descarga entre ambas.

Quando, porém, a carga total, sob tensão elevada, é muito grande, o excesso de carga na nuvem provoca a emissão de um raio preliminar, denominado *raio líder* ou *descarga-piloto* (ver Fig. 10.1a), que se dirige para um polo de carga oposta, isto é, o solo ou uma outra nuvem. Em seu trajeto sinuoso, essa descarga preliminar ioniza o ar, despojando de elétrons os incontáveis átomos de nitrogênio, oxigênio e argônio, encontrados em seu percurso no ar da atmosfera. Os átomos, que perderam um ou mais de seus elétrons, isto é, os *ions*, funcionam, então, como constituintes de uma espécie de "condutor", porque o gás ionizado é bom condutor de eletricidade.

Ao longo deste "condutor", após a descarga-piloto, vem, em seguida, a chamada *descarga-guia* (ver Fig. 10.1b), procurando seguir o percurso de maior condutibilidade.

Enquanto isto acontece, de um ponto da terra (eventualmente um pára-raios) desenvolve-se analogamente uma descarga-piloto ascendente, a qual, após encontrar a descarga-guia descendente, entra em contato com esta e prossegue em alta velocidade até a nuvem. Por isto denomina-se *descarga de retorno*.

Portanto, numa primeira etapa, ocorre uma *descarga de retorno* da terra para a nuvem, onde se iniciou o processo de indução eletrostática. Em seguida, tem lugar uma descarga denominada *principal*, no sentido da nuvem para a terra.

Quando as cargas nas nuvens são de tal modo elevadas que não podem ser neutralizadas pela descarga principal, esta é acompanhada por outras, denominadas *descargas-reflexas*, que também têm suas próprias descargas de retorno e aproximadamente a mesma forma da descarga principal.

O campo elétrico, proveniente das cargas acumuladas nas nuvens e no solo, acelera os elétrons que compõem o fluxo energético. O deslocamento dos elétrons entre os polos constituídos pela terra e a nuvem se faz com velocidades de várias dezenas de quilômetros por segundo. Os gases que se interpõem no percurso dos elétrons entre duas nuvens ou entre a nuvem e a terra têm seus átomos "bombardeados" com tal violência, que certo número de seus elétrons é arrastado nesse caudal eletrônico.

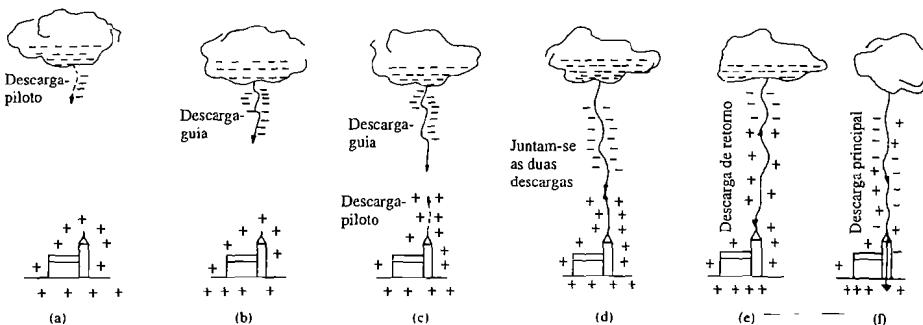


Fig. 10.1 Fases sucessivas da formação na atmosfera de uma descarga elétrica

Ora, quando um átomo perde elétrons, rompe-se o equilíbrio básico entre as cargas negativas (elétrons) e a carga positiva do núcleo. Basta que seja suprimido um elétron de um átomo para que parte de sua carga positiva deixe de ser neutralizada. O átomo se converte, então, numa partícula de carga positiva, ou íon positivo.

Na descarga elétrica que é o raio, os íons positivos voltam a colidir com elétrons, e, se a velocidade de ambos o permitir, o elétron voltará a entrar em órbita em torno do núcleo, o equilíbrio de cargas se restabelecerá e o átomo, ao final, se recomporá.

O efeito luminoso ou fulguração do raio decorre das colisões de elétrons com átomos ou íons e da liberação de energia no mencionado processo de reconstituição dos átomos.

Os raios têm o aspecto de linhas sinuosas, às vezes com múltiplas ramificações, porque as massas gasosas atravessadas pela corrente não são homogêneas e a corrente elétrica naturalmente procurará seguir o trajeto ao longo das regiões de maior condutibilidade e que se dispõem de maneira irregular.

O raio, como aliás qualquer corrente elétrica, gera, em volta de si, um campo eletromagnético, como se fosse um invólucro invisível, de diâmetro variável de alguns centímetros. É por estar assim “canalizado” pelo campo magnético que o raio não se dispersa pelo espaço.

Apesar das numerosas recombinações de fons com elétrons, é muito grande o número de íons positivos remanescentes, dispostos ao longo do trajeto. Forma-se um *condutor*, estendido entre duas nuvens ou entre uma nuvem e a terra. Ligados, deste modo, por um bom condutor, os dois pólos emitem alternadamente cargas sucessivas de um para outro, até que se restabeleça o equilíbrio entre ambos. Este equilíbrio nem sempre é obtido em uma única descarga porque, em geral, o raio conduz um excesso de carga para o outro polo. A descarga se processa num vaivém extremamente rápido, o que dá ao observador a impressão de ver o raio “tremer”.

O calor elevadíssimo, desenvolvido na descarga do raio, faz dilatar quase instantaneamente um envoltório de ar ao seu redor, e esta brusca dilatação produz a onda sonora característica que é o *trovão*, ouvido após o raio.

Os danos mecânicos causados pelo raio são, em geral, provocados pelo calor que gera. O raio tende a se projetar em pontos elevados (copas das árvores, torres, chaminés), onde se acumulam cargas elétricas do solo, capazes de desencadear o processo que foi analisado. Também as colunas de ar ou gás quente, por conterem numerosos íons, oferecem meio condutor capaz de canalizar o raio, ao longo das mesmas. Por isto, não se devem considerar como abrigo árvores, construções elevadas, bem como a vizinhança de pontos aquecidos, como chaminés, radiadores de veículos e até rebanhos de animais parados em um pasto.

10.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PÁRA-RAIOS

Os pára-raios classificam-se, segundo o tipo de captor que utilizam, em:

a) *Pára-raios comuns*, tipo Franklin, em homenagem ao seu inventor, Benjamin Franklin (1706-1790), o estadista e cientista norte-americano que construiu o primeiro em 1760. Em 1782, o rei Luís XVI mandou instalar um pára-raios no Louvre e em 1788 foi instalado o primeiro em Londres, na Catedral de Londres. O captor consta de uma ou mais hastes metálicas pontiagudas, em geral iridiadas, fixadas a uma base, onde é preso o condutor metálico denominado “condutor de descida”, cuja extremidade é ligada à terra. A instalação de pára-raios com captores comuns é apresentada na NBR 5.419/93 “Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas”, da ABNT.

É usado em chaminés, torres e onde as áreas não são maiores do que a base do cone de proteção (Fig. 10.2).

Campo de proteção de um captor de haste vertical é o volume de um cone tendo por vértice o ponto mais alto do pára-raios e cuja geratriz forma um ângulo de 60° com o eixo vertical.

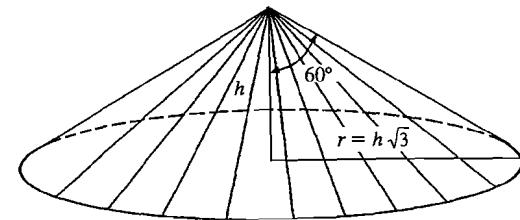


Fig. 10.2 Cone de proteção com pára-raios comuns

Quando não é prático nem econômico, ou mesmo viável, colocar-se uma torre (ou mais de uma) cuja altura assegure ao pára-raios o campo de proteção que dele se deseja, coloca-se um número adequado de pára-raios na cobertura da edificação a proteger, interligando-se os mesmos por cabos, formando, assim, a malha que é ligada à terra. Esta ligação é feita em vários *pontos de aterramento*. Ao sistema de proteção realizado deste modo denomina-se “gaiola de Faraday” (Fig. 10.3).

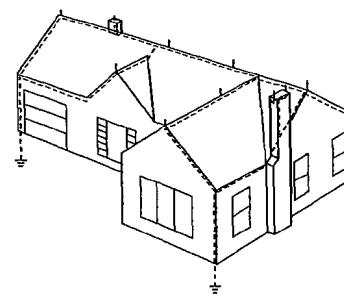


Fig. 10.3 Gaiola de Faraday

b) *Pára-raios radioativos*. O captor, de forma especial ou mesmo convencional, recebe uma certa quantidade de material radioativo, com a finalidade de aumentar a ionização do ar, melhorando o desempenho do pára-raios. Os riscos que oferecem fizeram com que sua fabricação e utilização fossem proibidas no Brasil, e a NBR 5.419/93 nem sequer os menciona.

10.3 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

O SPDA é um sistema completo destinado a proteger uma construção ou estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas. Tradicionalmente tem sido designado por *pára-raios*.

Consta de:

— um *sistema externo*, ou *pára-raios comum* com captores, condutores de descida e aterrimento. Em certos casos poderá existir:

— um *sistema interno*, formado por um conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger.

10.3.1 CAPTOR OU PONTA

É o elemento do sistema externo destinado a interceptar as descargas atmosféricas, conforme mencionado no item 10.1.

É constituído por uma, três ou mais pontas, em geral de aço inoxidável, e, como mostra a Fig. 10.4, é fixado a uma haste ou mastro, o qual é preso a uma base composta de um isolador de porcelana vitrificada para um nível de tensão de 10 kV.

O captor recebe os raios, reduzindo ao mínimo a probabilidade de a estrutura ser atingida diretamente por eles. Deve ter capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado no ponto de impacto, bem como os esforços eletromecânicos gerados.

Os elétrons podem mover-se facilmente pelo pára-raios, escoando para o solo, segundo ao longo do condutor e deixando, ainda, cargas positivas nas pontas do captor. A concentração desta carga positiva e o *poder das pontas* do pára-raios fazem com que as cargas positivas ascendam até as nuvens, atraídas por estarem carregadas negativamente. Estabelece-se um fluxo de carga positiva que pode neutralizar a carga negativa da nuvem, impedindo que se estabeleçam condições para o desencadeamento do raio. Deste modo, o pára-raios desempenha ordinariamente uma *função preventiva*.

Em geral é enfatizada a *função protetora* do pára-raios. Quando ocorrer uma tempestade, repentina e violenta, não haverá tempo nem condições para que o pára-raios desempenhe sua *função preventiva*, e poderá ocorrer a descarga elétrica que, com muita probabilidade, seguirá o caminho para a terra passando pelo pára-raios, e este desempenhará, então, sua *função protetora*.

A firma francesa Helita fabrica pára-raios designados por pulsar, de impulsos de alta tensão e não-radioativos.

Como mostra a Fig. 10.5, e esclarece o fabricante, o *pulsar* tem apenas uma ponta (1) que capta a corrente para alimentar o dispositivo elétrico contido no cilindro (3). Emite os eflúvios gerados pelos impulsos de alta tensão e capta a corrente do raio, para conduzi-la à terra.

10.3.2 CONDUTOR DE DESCIDA

Ligada ao captor, uma cordalha conduz a corrente elétrica à terra, por meio de um sistema de aterrimento que emprega eletrodos enterrados, os quais permitem dispersar a corrente de descarga atmosférica na terra. Em geral o condutor é constituído por um fio, fita ou cabo de cobre.

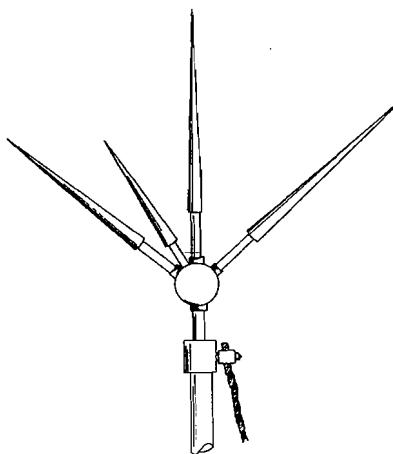


Fig. 10.4 Captor de pára-raios comum ou *Franklin*

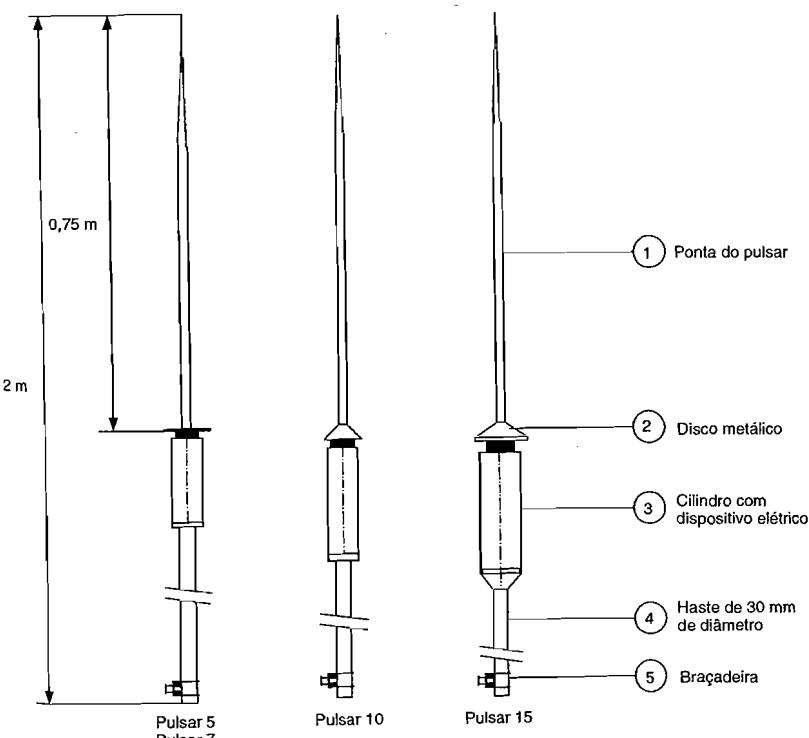


Fig. 10.5 Captor pulsar do fabricante Helita

Os condutores de descida devem ser dispostos de maneira a constituírem, tanto quanto possível, o prolongamento direto dos captores, devendo o comprimento de cada trajeto ser o menor e o mais retilíneo possível.

A NBR 5.419/93 apresenta amplas explicações e detalhes sobre o posicionamento e a instalação dos condutores de descida, abrangendo várias hipóteses.

10.3.3 HASTE PARA SUPORTE DO CAPTOR

Deve ser de cobre e fixada a um isolador, preso à cobertura. Recomenda-se o comprimento de 5 m, mas, para casas pequenas, o comprimento pode ser reduzido até 2 m. Para a haste de 5 m, o tubo de cobre terá 55 mm de diâmetro, e para 2 m, apenas 30 mm.

Admite-se usar tubo de ferro galvanizado como haste do captor. Para hastes com mais de 3 m, devem-se colocar *estais* ou *espías* para assegurar a estabilidade das mesmas.

10.3.4 BRAÇADEIRA OU CONECTOR

Destina-se a fixar o cabo de descida à haste. Deve ser de bronze ou cobre.

10.3.5 ISOLADORES

Podem ser de porcelana ou vidro especial para tensão de 10.000 volts. São fixados a barras ou suportes.

10.3.6 CONDUTOR METÁLICO DE DESCIDA

Como vimos no item 10.3.2, para a ligação do buquê do pára-raios à terra, usam-se cordoalhas, fios e cabos. A seção de condutor pode ser obtida na Tabela 10.1.

Tabela 10.1 Seção dos condutores de descida em mm²

Material do condutor	Altura da construção	
	≤ 20 m	> 20 m
Cabo de cobre	16	35
Cabo de alumínio	35	50
Cabo de aço galvanizado	50	80

Numa primeira aproximação, o número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{A + 100}{300} \quad 10.1$$

sendo:

N, o número de descidas.

A, a área coberta da edificação, em metros quadrados.

a) Uma descida para os primeiros 20 m de altura e mais uma descida para todo o aumento de 20 m ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{h}{20} \quad 10.2$$

sendo *h* a altura da edificação, em metros.
b) Uma descida para os primeiros 50 m de perímetro e mais uma descida para todo o aumento de 60 m ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{P + 10}{60} \quad 10.3$$

sendo *P* o perímetro da edificação, em metros. Resultando *N* um número fracionário, deverá ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior.

Dos três valores de *N* calculados, prevalecerá sempre o maior. Se, no cálculo do número de descidas, resultar uma distribuição tal que a distância entre elas, considerado o perímetro da edificação, seja menor do que 15 m, será permitida a redução daquelas descidas (até o máximo de duas), de forma a se distanciem, no máximo, de 15 m.

10.3.7 JUNTA MÓVEL PARA MEDAÇÃO

A fim de se proceder periodicamente à medição da resistência ôhmica do solo onde se acham os eletrodos, coloca-se a 2 m de altura ou pouco mais, acima do terreno, uma junta ou desconector que permita desligar o trecho do condutor ao captor e possibilite a ligação de um aparelho *megger* para medição direta da resistência do terreno (Fig. 10.6).

10.3.8 ELETRODO DE TERRA

Na extremidade do condutor são colocados um ou mais eletrodos de cobre, enterrados, de modo a constituírem um aterramento adequado à descarga do raio.

- O tipo de eletrodo, as dimensões e a quantidade dependem das características de condutibilidade do solo.
- A NBR 5419/93 fixou em 10 ohms o valor máximo da resistência de terra, em qualquer época do ano. Para edificações situadas em áreas onde existam inflamáveis ou risco de explosão, a resistência não deve ser superior a 1 ohm.

Tabela 10.2 Eletrodos de terra

Tipo de eletrodo	Material	Dimensões mínimas	Posição	Profundidade mínima
Chapas	Cobre	2 mm × 0,25 m ²	Horizontal	0,60 m
Tubos	Cobre <i>copperweld</i>	25 mm (int.) × 2,40 13 mm (int.) × 2,40	Vertical	Cravado por percussão
Fitas	Cobre	25 mm × 2 mm × 10,00 m	Horizontal	0,60 m
Cabos e cordoalhas	Cobre	53,48 mm ² , até 19 fios	Horizontal	0,60 m

- Os eletrodos de terra devem estar de acordo com a Tabela 10.2.
- A distância mínima entre os eletrodos de terra deve ser de 3 m. As fitas, quando dispostas radialmente, devem formar ângulo de, no mínimo, 60°.
- Os eletrodos e os condutores devem ficar afastados das fundações, no mínimo, 1 metro.
- Os eletrodos de terra devem ser localizados em solos úmidos, de preferência junto ao lençol freático, evitando-se, entretanto, áreas onde possa haver substâncias corrosivas.
- Em solo seco, arenoso, calcário ou rochoso, onde houver dificuldade de conseguir resistência ôhmica menor do que 10 ohms, é necessária uma compensação por meio de maior distribuição de eletrodos ou fitas, em disposição radial, todos interligados por meio de condutores que circundem a edificação, formando uma rede.
- Não é permitida a colocação de eletrodos de terra sob revestimentos asfálticos, argamassa ou concreto, e em poços de abastecimento d'água e fossas sépticas.

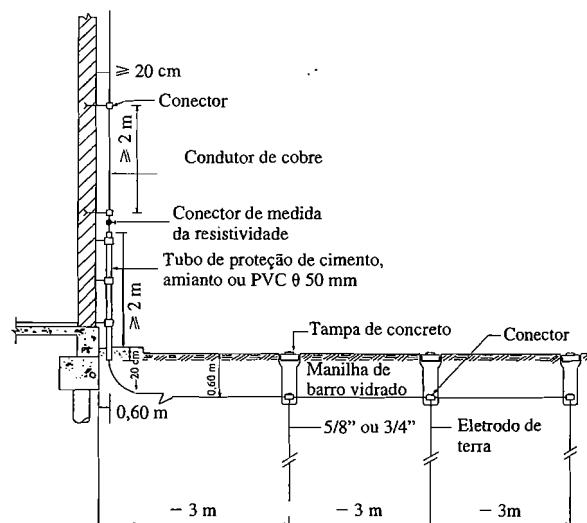


Fig. 10.6 Aterramento do pára-raios (sugestão Amerion Ltda.)

Se a condutibilidade do solo for suficiente, bastará a colocação de apenas um eletrodo de terra. Em geral, colocam-se três eletrodos. Caso não seja encontrada a resistência ôhmica prevista pela Norma NBR 5.419/93, aumenta-se o número de eletrodos até que isto seja conseguido.

10.3.9 PROTEÇÃO DO CONDUTOR DE DESCIDA

O condutor deve ser protegido por tubulação de PVC reforçado, até a altura de 2 m acima do nível do terreno (Fig. 10.6).

10.4 RESISTÊNCIA DE TERRA

A Norma NBR 5.419/93 (Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas) estabelece o valor máximo para a resistência que o solo pode oferecer à passagem da corrente.

Existem diversos processos para a determinação desta resistência. As firmas que vendem pára-raios normalmente dispõem de um aparelho denominado *megger*, com o qual determinam facilmente a resistividade do solo, antes da instalação do aterramento e após a execução do mesmo.

O *megger* é um medidor da resistência, em ohms, diretamente. Compõe-se de um pequeno dinâmetro acionado manualmente por uma manivela e duas bobinas: uma de potencial e outra de corrente. A força de indução resultante da ação do fluxo magnético destas bobinas aciona um dispositivo que faz mover um ponteiro cuja posição indica a resistência do circuito intercalado entre os bornes do aparelho.

Para tratar da seleção de eletrodos e cálculo aproximado da resistência de aterramento, apresentamos uma tabela de resistividade para vários tipos de solo (Tabela 10.3) e indicamos as fórmulas aplicáveis a alguns casos típicos para cálculo da resistência de aterramento.

Tabela 10.3 Resistividade dos solos

Natureza dos solos	Resistividade (ohms-metro)
Solos alagadiços	de algumas unidades a 30
Solos aráveis, aterros compactos úmidos	50
Argila plástica	50
Areia argilosa	50 a 500
Areia silicosa	200 a 3.000
Sabro, aterros grosseiros	500
Rochas impermeáveis	3.000
Calcário mole	100 a 400
Calcário compacto	1.000 a 5.000

Condutor enterrado horizontalmente

Aplica-se quando o solo não permite a cravação de hastes.

$$R = \frac{2\rho}{L} \quad 10.4$$

ρ — resistividade do solo em ohms-metros.

L — comprimento da vala onde está enterrado o condutor, em metros.

R — resistência de aterramento do condutor, em ohms.

Hastes de aterramento

$$R = \frac{\rho}{L} \quad 10.5$$

L — comprimento da haste, em metros.

Chapas metálicas

$$R = 0,8 \frac{\rho}{L}$$

10.6

L — perímetro da placa, em metros.

10.5 DIMENSIONAMENTO DE UM SPDA

Foram estabelecidos quatro diferentes níveis de proteção em função dos quais se chegam às decisões que devem ser tomadas no projeto de um SPDA.

- **Nível I** — Refere-se às construções cuja falha no sistema de proteção pode vir a provocar danos às estruturas adjacentes, tais como as indústrias petroquímicas, de explosivos etc.
- **Nível II** — Refere-se às construções protegidas cuja falha no SPDA pode ocasionar a perda de bens de elevado valor ou provocar pânico nos ocupantes, sem afetar as construções vizinhas. É o caso de teatros, museus, estádios etc.
- **Nível III** — Refere-se às construções de uso comum, como os prédios residenciais e comerciais.
- **Nível IV** — Refere-se às construções onde não é habitual a presença de pessoal. A construção é de material não-inflamável, bem como os produtos nela armazenados. Ex.: galpões de concreto para armazenar materiais de construção.

10.6 MÉTODOS DE CÁLCULO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- São três os métodos usuais:
 - de Franklin;
 - de Faraday;
 - eletrogeométrico.

10.6.1 MÉTODO DE FRANKLIN

Considera-se a construção envolvida por um cone cujo ângulo θ da geratriz com a vertical é estabelecido em função do nível de proteção necessário e da altura da construção. A Tabela 10.4 fornece o ângulo de proteção θ para alturas de construção até 60 m.

Tabela 10.4 Ângulo de proteção em ($^{\circ}$) e altura da construção (NBR 5.419/93)

Nível de proteção	Altura da construção em m			
	20	30	45	60
I	25°			
II	35°	25°		
III	45°	35°	25°	Franklin
IV	55°	45°	35°	25°

Não é permitida a proteção pelo método de Franklin

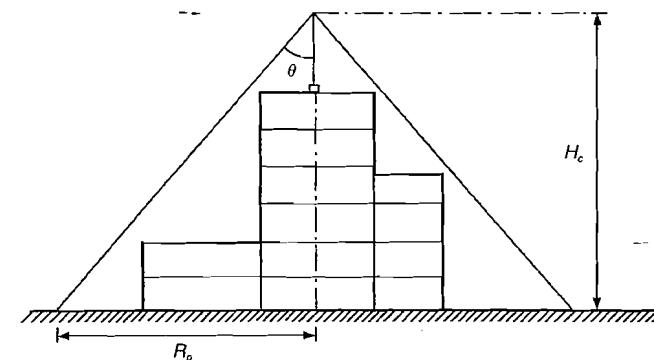


Fig. 10.7 Cone de proteção pelo método de Franklin

Determina-se o cone de proteção pelo raio R_p , dado por:

$$R_p = H_c \cdot \operatorname{tg} \theta \quad 10.7$$

Em seguida calcula-se o número de condutores de descida N em função do perímetro da construção P (em metros) e da distância máxima entre condutores de descida, dada pela Tabela 10.5:

$$N = \frac{P}{D} \quad 10.8$$

Tabela 10.5 Espaçamento médio dos condutores de descida conforme o nível de proteção (NBR 5.419/93)

Nível de proteção	Espaçamento médio (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Para chaminés ou torres de altura superior a 25 m e seções transversais quadradas ou hexagonais, o número mínimo de condutores de descida é quatro, e o número mínimo de captores é dois.

10.6.2 MÉTODO DE FARADAY

Considera-se a parte superior da construção envolvida por uma malha de condutores elétricos sem encapamento. A distância entre os condutores é função do nível de prote-

ção desejado e pode ser obtida na Tabela 10.6. O método de Faraday é indicado quando não for aceitável instalar uma torre ou haste grande na cobertura.

Tabela 10.6 Distâncias entre os cabos da malha de proteção

Nível	Distância (m)
I	5
II	10
III	10
IV	20

Designando-se por N_{cm} o número de condutores da malha, e por:

D_m — dimensão do comprimento ou da largura da área plana, em (m);

D_{co} — distância entre os condutores, em (m). Podemos calcular o número de condutores da malha para qualquer dimensão da malha, pela Equação 10.9.

Em geral se empregam hastes verticais captoras com mais de 0,5 m ligadas ao longo da malha de proteção e distanciada de cerca de 8 m.

$$N_{cm} = \frac{D_m}{D_{co}} + 1 \quad 10.9$$

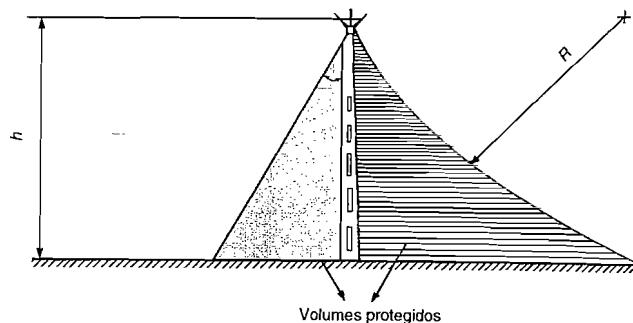
10.6.3 MÉTODO ELETROGEOMÉTRICO

Em geral, é o método usado para a proteção de subestações elétricas externas. Coloca-se um captor em um poste cuja altura depende da altura do mais alto dispositivo da subestação a ser protegida.

Tabela 10.7 Posicionamento do captor conforme o nível de proteção

Nível de proteção	R (m)	h (m)	20	30	45	60	> 60	Módulo da malha (m)
			α	α	α	α	—	
I	20	25	(A)	(A)	(A)	(B)	—	5×10
II	30	35	25	(A)	(A)	(B)	—	10×15
III	45	45	35	25	(A)	(B)	—	10×15
IV	60	55	45	35	25	(B)	—	20×30

A NBR 5.419/93 apresenta tabela para determinação do ângulo α em função da altura do captor h , do raio R , da esfera rolante e do nível de proteção próprio ao caso.



h = altura do captor
 α = ângulo de proteção (método Franklin)
 R = raio da esfera rolante

Fig. 10.8 Volume de proteção pelo método eletrogeométrico

11 Sinalização, Comunicação e Comandos

11.1 SINALIZAÇÃO

A forma mais simples de sinalização é a utilização de campainhas e cigarras acionadas por botão ou botões localizados junto às portas de entrada ou em outros locais de onde se pretenda enviar um sinal de aviso.

A campainha, como se vê na Fig. 11.1, possui eletroímãs que, energizados quando se aciona o botão, atraem uma haste ligada por uma mola a um suporte. O martelo na extremidade da haste percute um tímpano.

O eletroímã é alimentado em tensão muito reduzida, de 5 a 10 volts, e por isto é necessário que se instale um transformador de 127/6 V ou 220/6 V, conforme a tensão primária seja de 127 ou 220 V, respectivamente.

A campainha pode ser acionada por um, dois ou mais botões. Na Fig. 11.2 vemos um diagrama de comando da campainha por dois botões independentes.

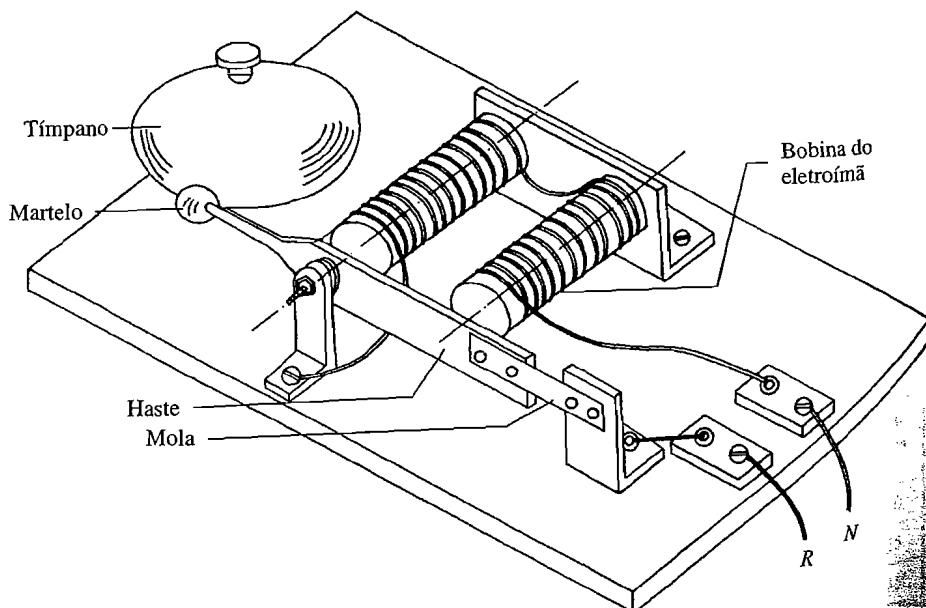


Fig. 11.1 Campainha elétrica

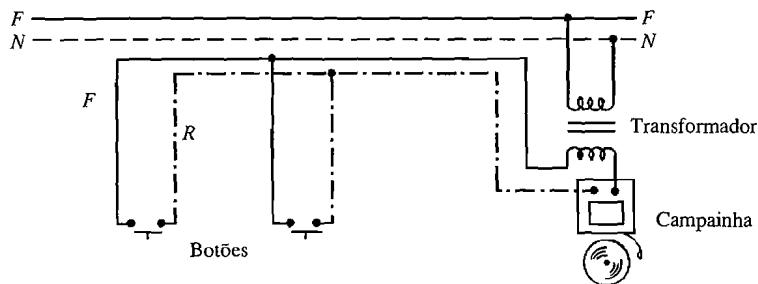


Fig. 11.2 Comando de campainha por dois botões

Em vez da *campainha*, tem sido dada preferência à *cigarra*, que produz um som muito menos estidente que o tilintar da campainha. Outra vantagem consiste no fato de a cigarra funcionar com 127 ou 110 V, dispensando, portanto, a instalação do transformador de 127 V ou 110 V para 6 V.

A cigarra compõe-se essencialmente de um eletroímã e de uma lâmina metálica. A corrente elétrica, ao percorrer o eletroímã, atrai a lâmina de aço, fazendo-a vibrar, o que produz um som característico.

Existem cigarras de uma bobina (Fig. 11.3) e de duas, que são as melhores (Fig. 11.4).

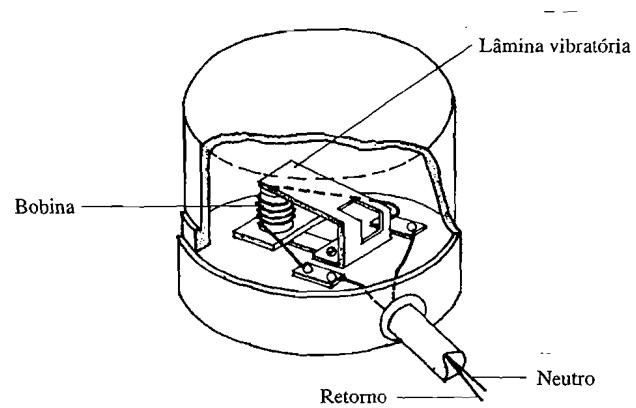


Fig. 11.3 Cigarra com uma bobina

A Fig. 11.5 mostra os diagramas representativos de uma instalação de cigarra comandada por um botão, e a Fig. 11.6, diagramas para o caso de serem três os botões de comando.

Em apartamentos, coloca-se um botão na entrada social e outro na de serviço, quando estas são separadas. Mas, no interior do apartamento, pode ser conveniente chamar a empregada a partir de botões de comando na sala ou nas salas, e em um ou mais quartos. Emprega-se, então, um *quadro anunciador* localizado na copa ou na cozinha, o qual conterá o mesmo número de sinais que o de botões. Existe um tipo de quadro anunciador silencioso (Fig. 11.7) e outro dotado de campainha (Fig. 11.8). No primeiro tipo, o próprio eletroímã que aciona o indicador numerado é que faz o ruído de chamada, semel-

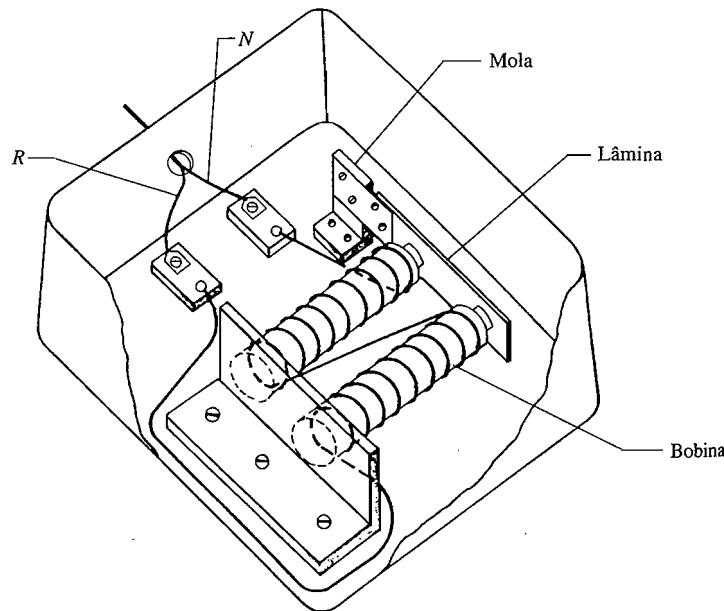


Fig. 11.4 Cigarra com duas bobinas

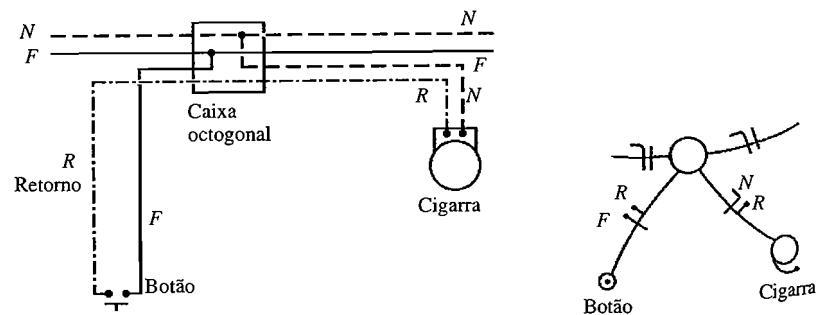


Fig. 11.5 Comando de cigarra por um botão

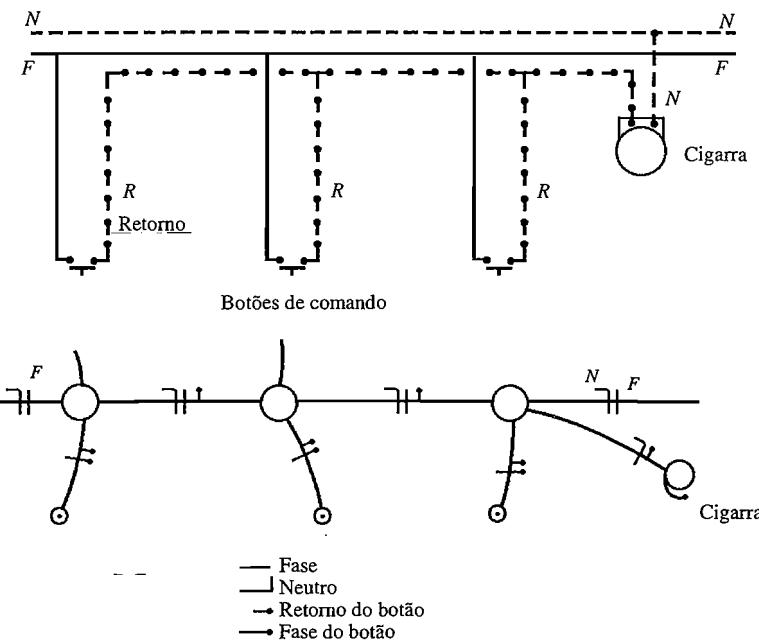


Fig. 11.6 Comando de cigarra por três botões

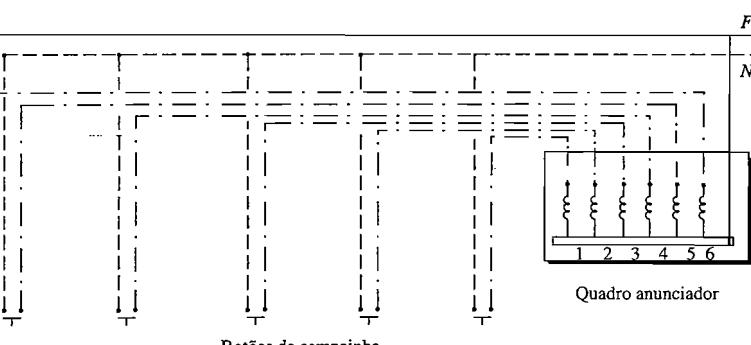


Fig. 11.7 Quadro anunciador silencioso e botões de comando

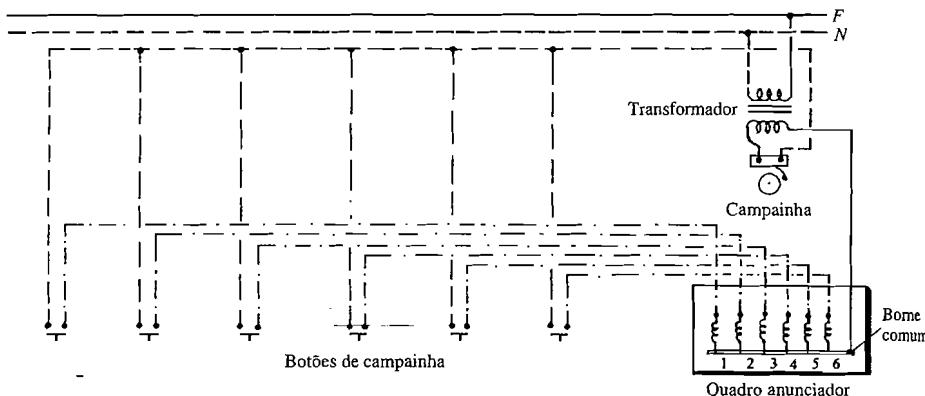


Fig. 11.8 Quadro anunciador e botões de comando

lhante ao das cigarras, dispensando o emprego da campainha. No segundo tipo, o eletroímã serve apenas para acionar o indicador numerado, sem provocar nenhum ruído, o que obriga a instalação de uma campainha simultaneamente com o quadro anunciador. Existem quadros anunciadores com duas bobinas, uma das quais serve para desmarcar o quadro anunciador.

Vê-se na Fig. 11.9 um quadro anunciador com campainha e transformador. Na Fig. 3.23 (ver Cap. 3) vê-se a representação dos botões de campainha e de uma cigarra colocada na cozinha de um apartamento. Os fios fase e de retorno da campainha à cigarra são representados por traços com um ponto preto em uma das extremidades.

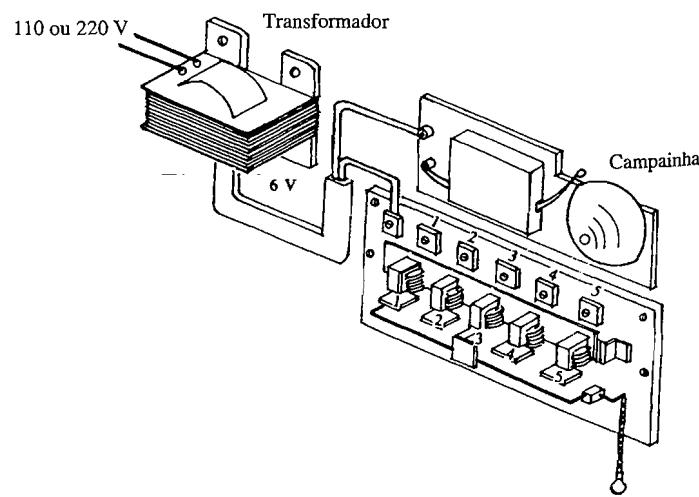


Fig. 11.9 Quadro anunciador de cinco números, com transformador 110/6V e campainha

11.2 PORTEIRO ELETRÔNICO

Para que um visitante, ao chegar à entrada de um prédio, cujo portão ou porta normalmente permanece fechado, possa ser identificado pelo morador a cuja residência se dirige, instala-se o equipamento conhecido como *porteiro eletrônico*. O visitante aperta o botão correspondente ao apartamento com o qual quer se comunicar, e um

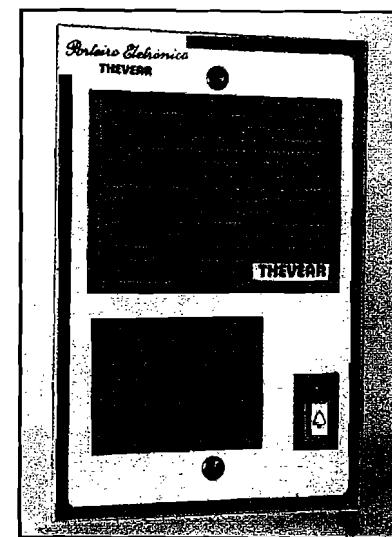


Fig. 11.10 Porteiro eletrônico residencial que permite a ligação de mais de um interfone (IPEX — Ho/75) e possui led piloto na placa de rua. Fabricante Thevear

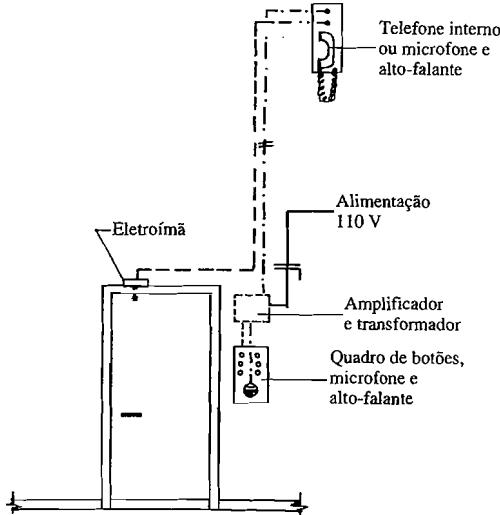


Fig. 11.11 Esquema simplificado do porteiro eletrônico

sinal sonoro se faz ouvir na copa ou na cozinha do apartamento. A pessoa que atende fala em um microfone ou em um telefone (Fig. 11.10) com o visitante, e este ouve por um alto-falante e se comunica por um microfone, embutido no painel. Desejando abrir o portão, o morador aperta um botão que permitirá passagem para a corrente, a qual acionará um eletroímã que destrava um fecho que mantém a porta fechada. Usando mola auxiliar, esta poderá atuar, abrindo a porta. O equipamento é fornecido e instalado por firmas especializadas, que se propõem a fazer a conservação do mesmo.

Em algumas portarias de edifícios é instalada uma "central de portaria", que permite a intercomunicação portaria-apartamento ou vice-versa, apartamento-garagem ou apartamento-apartamento. Permite a transferência noturna de todas as ligações para o apartamento do zelador. A Fig. 11.12 mostra a central de portaria da HDL.

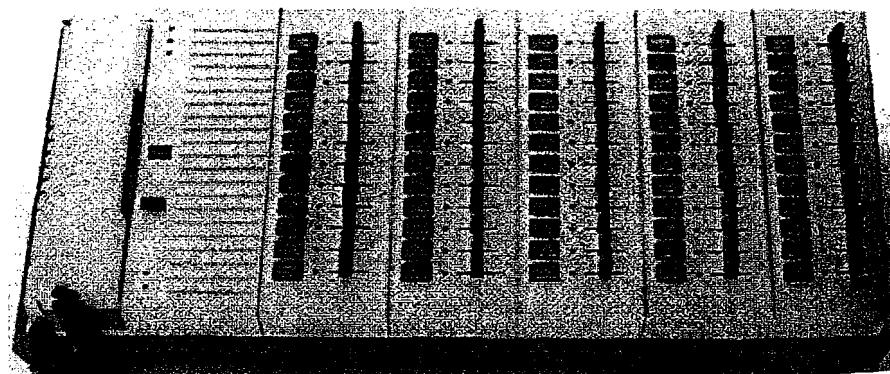


Fig. 11.12 Central de portaria. Fabricante HDL

11.3 SINALIZAÇÃO ACÚSTICO-VISUAL EM HOSPITAIS

Existem várias empresas que fabricam, vendem e instalam este tipo de equipamento. A Neo-Rex do Brasil Ltda. apresenta o sistema Neo-Rex Paciente-Enfermeiro de comunicação hospitalar. Descreveremos as principais características do sistema citado.

A primeira vantagem do sistema Neo-Rex aparece na hora em que o paciente chama: o enfermeiro atende e fala com ele, sem sair do posto. Assim se torna possível saber de que o doente precisa, antes mesmo de ir ao quarto.

Quando necessário, o próprio enfermeiro pode iniciar uma conversação com o paciente, diretamente do posto. (Ver na Fig. 11.13 os principais componentes.)

O sistema procura o enfermeiro onde ele estiver, pois as luzes verdes começam a piscar quando há uma chamada em outro quarto. Outra vantagem é que o próprio enfermeiro pode iniciar uma chamada de emergência, solicitando a presença imediata de um médico ou de um auxiliar quando pressentir um problema que não possa resolver sozinho. Nesse caso, toca um sinal bitonal no posto de enfermagem, além de piscarem as luzes verde e vermelha. Esse sistema possui também distinção imediata entre três tipos de chamadas, ou seja, normais, de emergência e de banheiro.

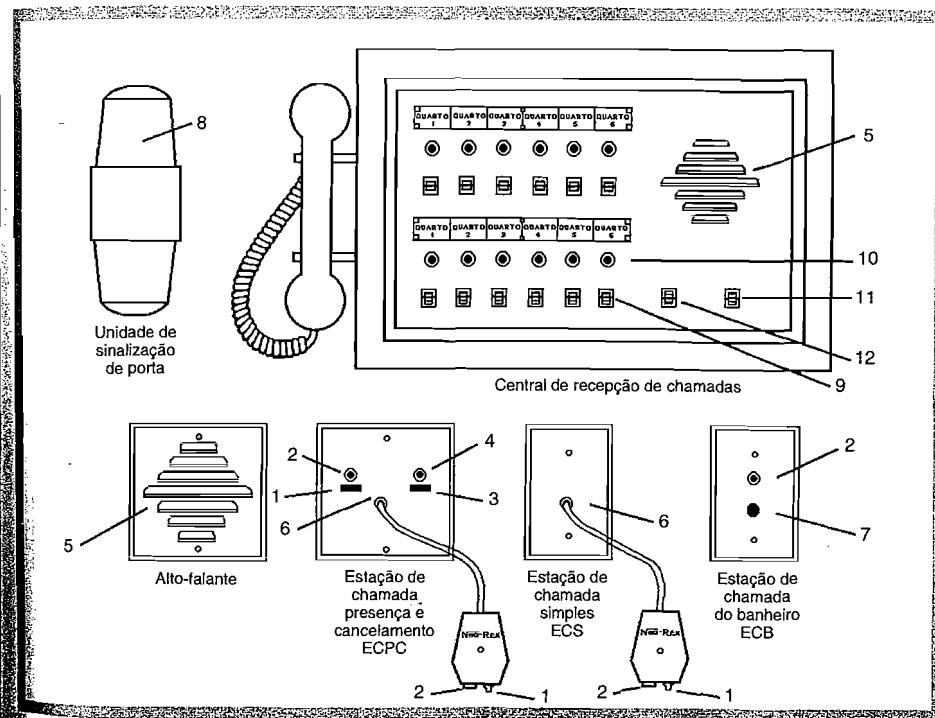
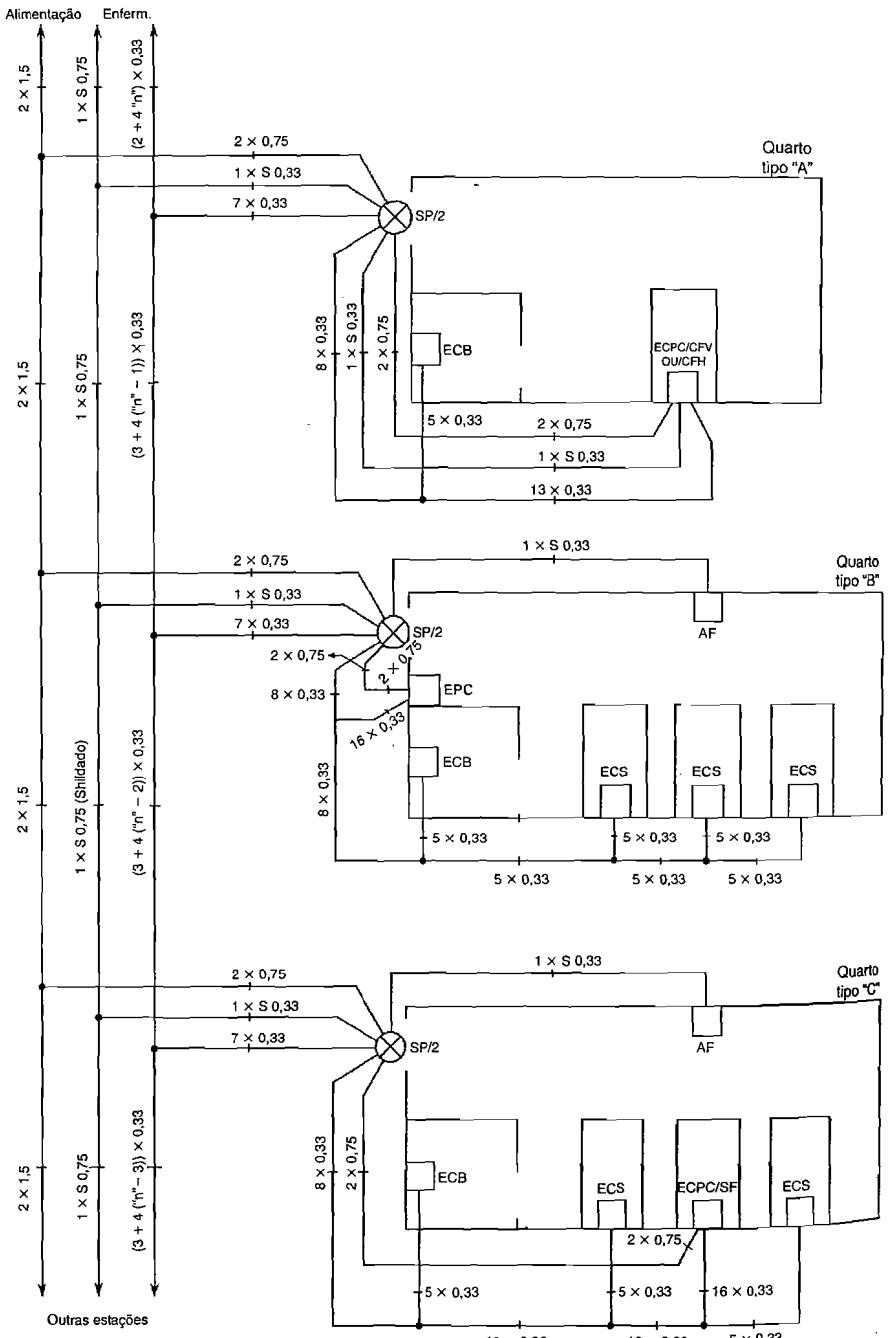


Fig. 11.13 Componentes do sistema Neo-Rex Paciente-Enfermeiro de comunicação hospitalar

- 1) Tecla para:
chamada do leito;
chamada de emergência.
- 2) Sinalizador vermelho
para indicar:
chamada registrada;
chamada atendida.
- 3) Tecla para:
presença de enfermeira;
cancelamento de chamada;
cancelamento de presença.
Sinalizador verde-vermelho
para indicar:
presença de enfermeira;
- 4) Lâmpada verde-vermelha.
- 5) Chave para:
atender chamada do leito;
comutar conversação;
cancelar chamada.
- 6) Chave de comutação
fala/ouve.
- 7) Chave de comutação
falante/fone.
- 8) Tecla para:
chamada em outro
quarto;
chamada de emergência em
outro quarto.
- 9) Alto-falante para
falar/ouvir.
- 10) Cordão com pêra de chamada.
- 11) Tecla para chamada de
banheiro.
- 12) Sinalizador verde-vermelho
para:
registrar "chamadas do leito";
registrar "chamadas;
de emergência";
indicar que a chamada está
em atendimento;
indicar a presença de
enfermeira no quarto.
- 13) Chave para:
atender chamada do leito;
comutar conversação;
cancelar chamada.



11.4 COMUNICAÇÃO INTERNA

A comunicação interna entre locais ou salas de um estabelecimento comercial ou industrial pode ser realizada de uma das maneiras seguintes:

- Com telefones internos ligados a uma mesa telefônica ou central privada de comutação telefônica dos tipos P(A)BX ou Key System. As tubulações deverão ser separadas e independentes da tubulação telefônica em edifício (Sistema de Práticas TELEBRÁS — Telecomunicações Brasileiras S.A., n.º 235-510-602 RJ, com o nome de projeto de tubulações telefônicas em edifícios), caso a central não pertença à concessionária. Caso, porém, pertença à mesma, esta poderá, a seu critério, exigir que as tubulações telefônicas internas ligadas à central privada de comutação telefônica sejam independentes da tubulação telefônica do edifício. Se a concessionária autorizar, as tubulações telefônicas para as redes das centrais privadas poderão ser interligadas às tubulações de uso exclusivo da concessionária, através da caixa de distribuição da prumada mais próxima, para facilitar a instalação das linhas-tronco no equipamento do assinante.
- Com telefones internos fazendo parte de um sistema particular independente da rede da concessionária e, portanto, com todo o equipamento fornecido, instalado e mantido pelo interessado. As tubulações, caixas, fios, cabos, aparelhos e a central automática fazem parte de um projeto independente e sem vinculação com a concessionária. Não poderá haver comunicação com o exterior; logo, serve somente para intercomunicação dentro dos limites da propriedade do interessado.

A Amelco S/A Indústria Eletrônica fabrica intercomunicadores *sem fio*, de até 14 ramais, e com cabo, de até 40 ramais.

11.5 ABERTURA E FECHAMENTO DE PORTÕES

Abrir o portão da garagem para guardar o carro pode oferecer ao motorista o risco de um assalto ou o inconveniente de apanhar chuva ao se encaminhar até o portão. Existem dispositivos eletrônico-eletromecânicos que possibilitam ao motorista, do interior de seu carro, até mesmo com os vidros fechados, comandar a abertura e o fechamento do portão da garagem.

O sistema de controle eletrônico Ampliport, da empresa HDL, por exemplo, permite o comando, tanto de folhas convencionais de abrir e fechar quanto de basculante e de correr, usando dispositivos eletromecânicos apropriados, hidráulicos ou cremalheira, conforme o caso. Cada portão é radiocommandado por um aparelho portátil menor do que um maço de cigarros, que envia um sinal eletrônico em código binário, de baixa frequência, com impulso UHF, sendo o código inviolável por outro comando ou por interferência. Cada portão pode ter tantos comandos quantos forem necessários para equipar os carros que devem poder entrar na garagem.

A segunda peça é a *central*, na verdade um microcomputador extremamente simples. Sua função é receber o sinal emitido pelo comando portátil e efetuar três operações: comandar automaticamente a abertura, o fechamento e a parada do portão, caso uma pessoa ou o seu carro se interponha no curso de funcionamento do portão.

O sistema funciona em 220 volts-250 watts.

A empresa Proma — Sistemas Analógicos e Digitais também fabrica o Sésamo 40, destinado ao controle remoto para portões automáticos.

11.6 ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Em hospitais, hotéis, cinemas, teatros, locais de reuniões, bancos, clubes, indústrias, aeroportos, estabelecimentos comerciais e mesmo em apartamentos podem ocorrer gra-

ves transtornos e até pânico, quando sobrevém uma interrupção do sistema de iluminação alimentada com energia da concessionária. Recomenda-se e até obriga-se, pelo menos nos casos em que a falta de luz possa ocasionar pânico ou ensejar o roubo de mercadorias em lojas, a utilização de sistemas de iluminação de emergência. Em princípio, todos utilizam energia de baterias, que se carregam com a energia da rede em 110 V/220 V e se mantêm carregadas, prontas a fornecerem energia automaticamente, ou quando acionadas, e que desligam logo que volte a corrente normal.

Os sistemas podem consistir em:

- Uma simples lanterna com bateria e aparelho com lâmpada fluorescente ou incandescente. É carregada a bateria, quando ligada a uma tomada qualquer. Pode ser conduzida manualmente ao local desejado.
- Luminária autônoma* para luz permanente ou de emergência. É semelhante à anterior, empregando baterias recarregáveis, porém é fixada em um local conveniente, como, por exemplo, acima de uma porta de saída de emergência. Exemplo: Lux-Tronic da 2 Y Ind. Eletrônica Ltda.
- Sistema central, em 12 V, corrente contínua*. Alimenta em 12 V uma carga instalada de cerca de 200 W. O aparelho fica ligado a uma tomada da rede, carregando a bateria. Faltando energia, passa a funcionar automaticamente. Quando volta a energia, desliga automaticamente.
- Sistema central em 108 V, corrente contínua*. O modelo Daolite FC-108, da Dalma Intercâmbio Comercial Ltda., fornece energia ao sistema de *luz de emergência*, quando ocorre falha no fornecimento de energia ao prédio. São fabricadas para potências de 1.000 W a 10.000 W. O modelo Daolite FCB-108 fornece energia ao sistema de emergência e ao próprio sistema normal, utilizando as mesmas lâmpadas instaladas.

11.7 PORTAS AUTOMÁTICAS

Portas que se abrem automaticamente à aproximação de uma pessoa são muito usadas em hotéis, aeroportos, bancos, edifícios comerciais, *shopping centers*, lojas e restaurantes. Em hospitais, nos centros cirúrgicos e salas de curativos, oferecem comodidade na locomoção de macas, cadeiras de rodas etc.

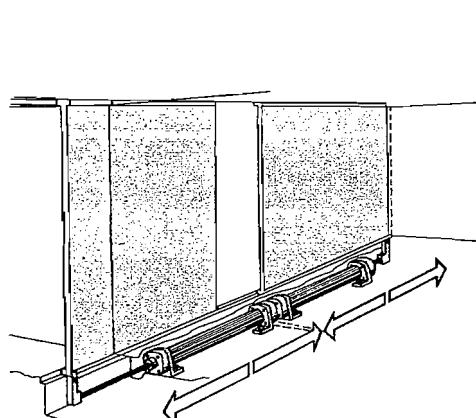


Fig. 11.15a Comando pneumático de portas com movimento de translação

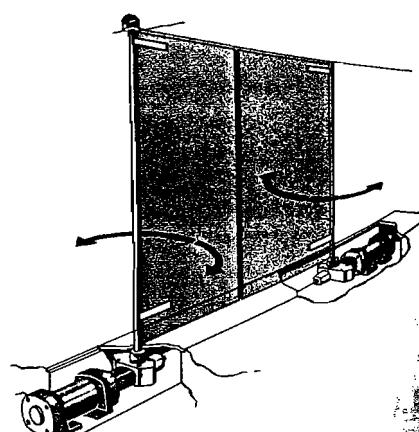


Fig. 11.15b Comando pneumático de portas com movimento de rotação

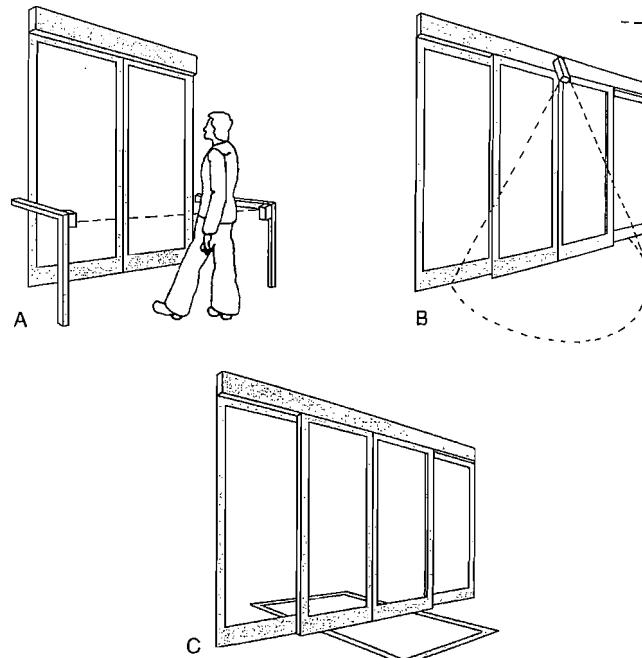


Fig. 11.16 Portas automáticas. Modalidades de acionamento (Tescom Eletromecânica Ind. e Com. Ltda). a) Fotocélula. b) Radar. c) Tapete

Existem três maneiras de se provocar o acionamento das portas:

- Por *fotocélulas*. A pessoa, ao se aproximar da porta, interrompe o feixe luminoso de uma célula fotoelétrica, o que vem a provocar o fechamento de um circuito elétrico que aciona o motor de abertura da porta.
- Por *radar*. É lançado um facho de radiação no piso por um dispositivo colocado acima da porta. A intromissão de uma pessoa nesse facho e as grandezas eletrônicas amplificadas e convertidas em impulsos elétricos agem sobre o mecanismo de acionamento da porta.
- Por *pressão sobre tapete* colocado debaixo e em frente à porta. O tapete é localizado sobre um estrado, o qual, ao baixar sob o peso da pessoa que sobre ele pisou, atua sobre um comando elétrico ou pneumático que age sobre válvulas de um sistema pneumático que, pela ação de pistões, desloca a porta com movimento de translação (Fig. 11.15a) ou de rotação (Fig. 11.15b). Nas Figs. 11.15a e 11.15b vemos como são dispostos os acionadores pneumáticos tal como apresentado no livro *Aplicaciones de la Neumática*, de W. Depert e K. Stoll (Marcombo), e no catálogo *Sugestões de Aplicações dos Equipamentos Pneumáticos*, da empresa Festo — Máquinas e Equipamentos Pneumáticos Ltda.

11.8 RELÓGIOS DE CONTROLE

Em indústrias, grandes escritórios, lojas, repartições públicas, bancos, escolas, quartéis e outros estabelecimentos, empregam-se sistemas destinados a indicar a hora e acionar sinais como cigarros, campainhas ou sirenes em momentos predeterminados, tais como

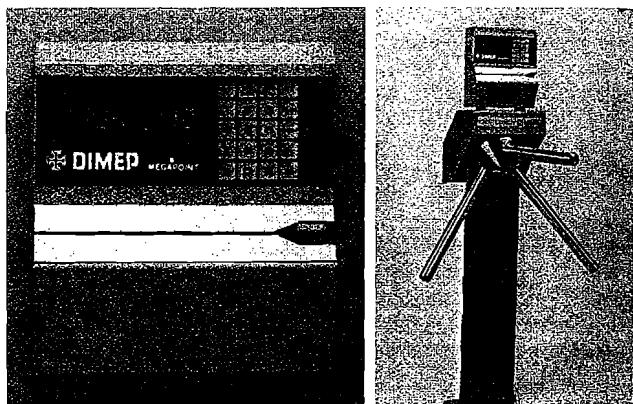


Fig. 11.17 Relógio eletrônico de ponto Megapoint e uma duplicação de seu uso. Fabricante Dimep

Características técnicas:

- Memória de armazenamento de 128 kb, a qual permite *back-up* automático de registros já recolhidos pelo computador.
- Memórias do tipo transportável em cartucho.
- Teclado funcional de 20 teclas, tipo membrana, com até 20 funções previamente programadas.
- *No-break* de níquel-cádmio, com autonomia de 24 horas.
- Banco de memória de 128 kb para listas, sendo este dividido em quatro áreas de 32 kb, permitindo a operação de até seis tipos de listas simultaneamente, tais como: lista negra, lista branca, faixa horária, senha, via de crachá e consulta.
- As listas poderão ser acionadas em datas e horas programadas.
- Display de oito dígitos utilizados para informação ao usuário.
- Pode possuir externamente até sete tipos de acionamentos, tais como: catracas, fechaduras, sinalheiro, comando de redes de relógios secundários etc.
- Chave de segurança para o teclado de dados/funcional.
- Possibilita a utilização de um segundo leitor, distante até 10 metros da unidade eletrônica com sinalização de leitura.
- Detector de revista programável pelo próprio relógio, com aviso sonoro e luminoso do sorteio.
- Dispositivo sinalheiro de duplo circuito que permite a programação diária de até 35 toques.

início e fim de turnos de trabalhos ou aulas, intervalos, período de almoço. Além disso, os relógios podem proceder a marcações de tempo, do ponto de empregados, do tempo decorrido e do tempo acumulado em horas de serviço.

O relógio eletrônico de ponto Megapoint, produzido pela DIMEP, equipamento desenvolvido com a mais alta tecnologia disponível, atende às mais diversas exigências dos usuários por tratar-se de um equipamento multiuso em que sua modalidade de operação poderá ser pré-programada, tornando o equipamento moldável às necessidades do cliente.

Sua configuração de 128 kb de memória de armazenamento em cartucho permite que o relógio seja utilizado por um grande período e com a garantia de integridade dos dados coletados por até dois anos (ver Fig. 11.17).

Foi escolhido como entrada de dados do Megapoint o código de barras internacional 25 intercalado, personalizado para cada usuário, proporcionando total segurança na utilização dos crachás, que poderão ser do tipo natural ou protegido.

A Fig. 11.18 mostra o sistema centralizado de comunicação interna, som, hora, relógio de ponto.

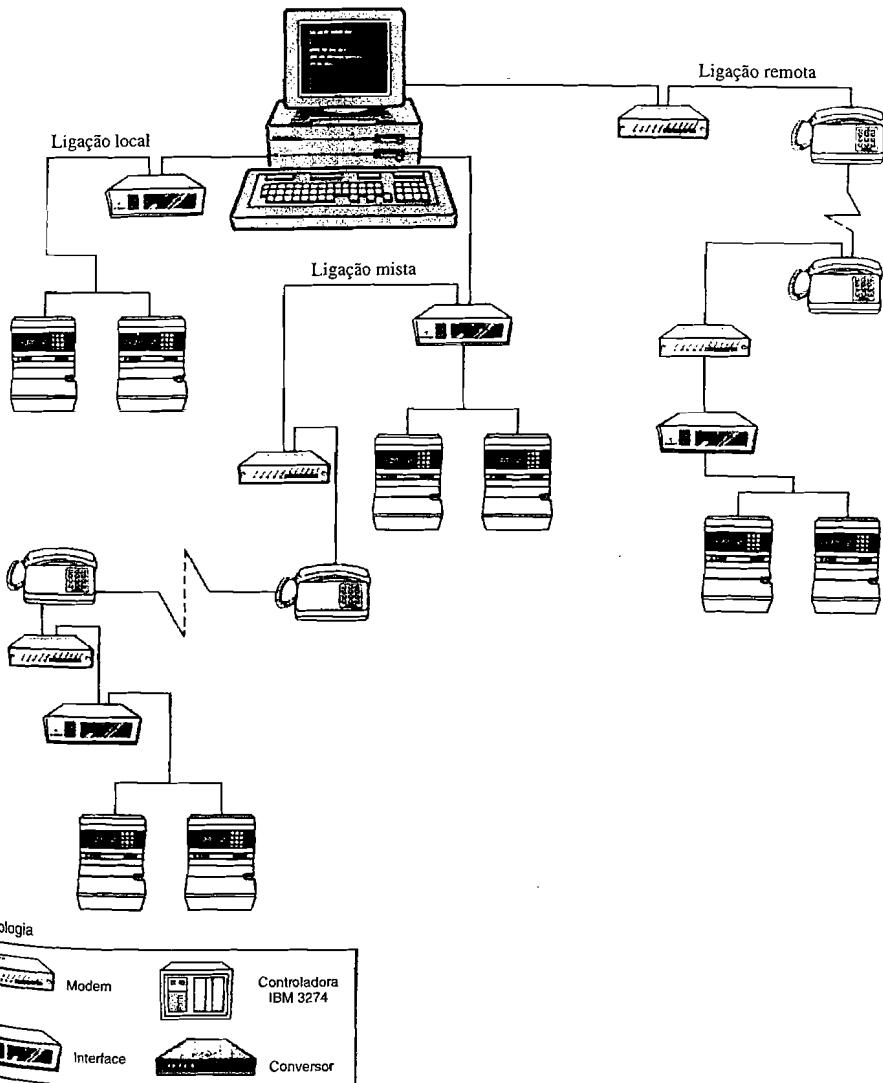


Fig. 11.18 Sistema centralizado de comunicação interna, som, hora, relógio de ponto. Fabricante Dimep

11.9 EMERGÊNCIA E SISTEMA *No-BREAK*

11.9.1 EM INSTALAÇÕES DE GRANDE PORTE

Nessas instalações, como hospitais e aeroportos (uso obrigatório do grupo gerador), edifícios comerciais e sedes de empresa, é comum utilizarem-se duas fontes de alimentação (concessionária e emergência), para que, em caso de falta na rede da companhia local de energia elétrica, o trabalho possa ser retomado, num curto intervalo de tempo, com o uso de uma segunda fonte de alimentação.

Na Fig. 11.19 temos dois quadros principais de distribuição: normal e emergência. Os circuitos que não podem ser interrompidos estão na emergência, pois serão alimentados ora pela entrada da concessionária, ora, no caso da falta desta, pelo grupo motor-gerador de emergência.

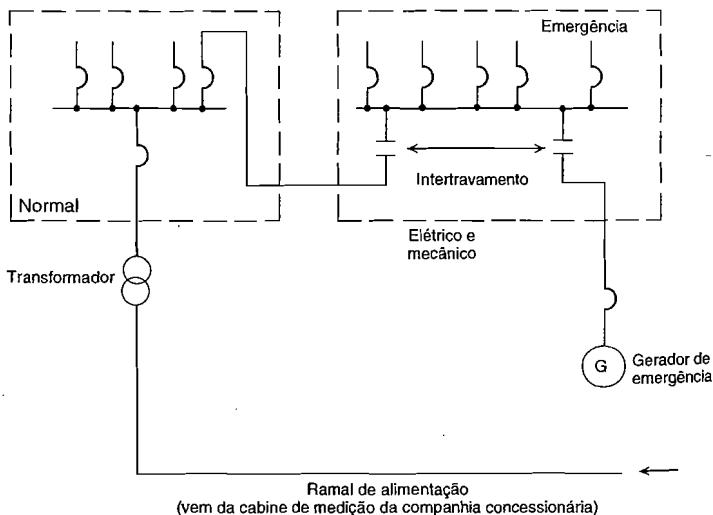


Fig. 11.19 Esquema unifilar de uma instalação com grupo de emergência

11.9.2 INTERTRAVAMENTOS

Intertravamentos são dispositivos que, na presença de duas fontes alimentadoras, permitirão que os contatos de *apenas uma* delas se fechem. Isto tem por objetivo evitar que haja um curto-círcito no alimentador de entrada. Os intertravamentos podem ser mecânicos ou elétricos, de acordo com a forma como agem. No mecânico, cada grupo de chaves elétricas (normal e emergência) possui uma barra, de modo que só uma possa ser operada, impedindo o paralelismo das duas fontes.

A transferência da fonte de alimentação normal para a emergência também pode ser feita sem operação manual. Na Fig. 11.20, o contato CT, normalmente aberto, é acionado pelo dispositivo P, fechando-se *automaticamente* em caso de falta de tensão da alimentação normal.

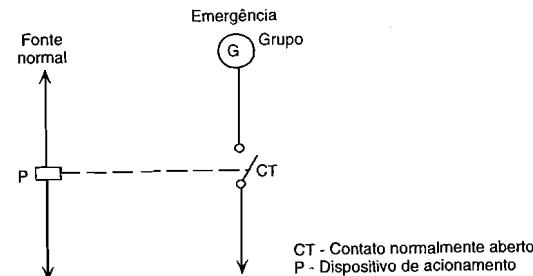


Fig. 11.20 Esquema de alimentação com intertravamento elétrico. Emergência com grupo motor-gerador

11.9.3 *NO-BREAK*

Em instalações que usam computadores (CPDs), as cargas são extremamente sensíveis e exigem sistemas ininterruptos de energia (UPS). Nos casos citados anteriormente, os sistemas de transferência deixam sempre um curto intervalo de tempo na alimentação dos equipamentos informatizados. Assim, no caso de uma falta de energia por um tempo muito curto, podendo acarretar grandes perdas de programas, comunicações e possíveis danos, usa-se o sistema de transferência para fonte de alimentação sem interrupção (UPS), denominado *no-break*.

11.9.3.1 Principais Funções do *No-break*

- Suprir as falhas de fornecimento de energia da rede elétrica da concessionária, com o auxílio da bateria.
- Condicionar a energia da concessionária, estabilizando a tensão e a frequência.
- Eliminar as perturbações presentes na rede elétrica da concessionária.

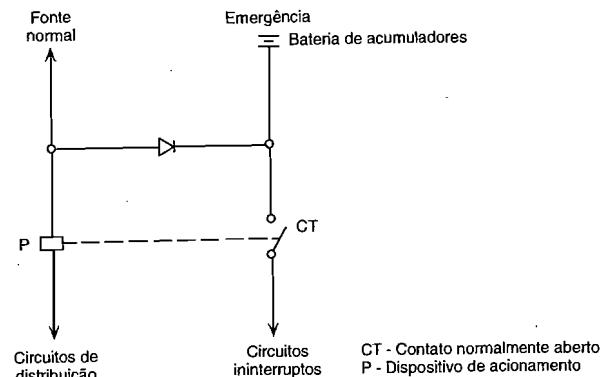


Fig. 11.21 Esquema de alimentação com intertravamento elétrico. Emergência com baterias de acumuladores (*no-break*)

11.9.3.2 Áreas Típicas de Aplicação

- Sistemas de processamento de dados.
- Centrais de supervisão, comando e distribuição de energia elétrica.
- Sistemas de telecomunicações.

11.9.3.3 Princípio de Funcionamento

O *no-break* é dividido funcionalmente em baterias, retificador, inversor e chave estática.

Para suprir as falhas da rede, utiliza-se um banco de baterias, conectado em paralelo com o circuito intermediário, que irá alimentar o inversor na falta de energia pela rede. Normalmente as baterias são alojadas em salas especiais e separadas.

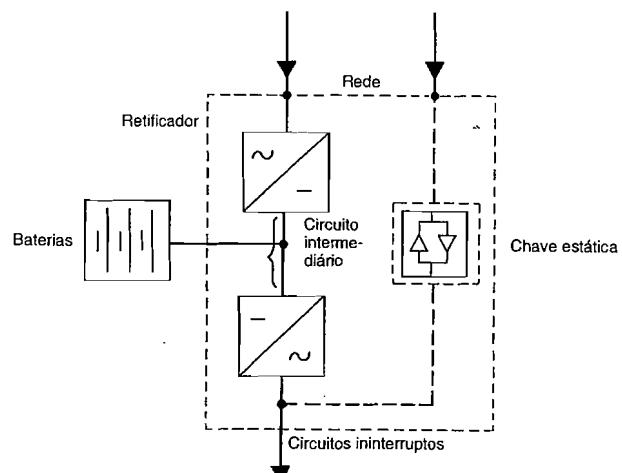


Fig. 11.22 Diagrama básico de um sistema unitário

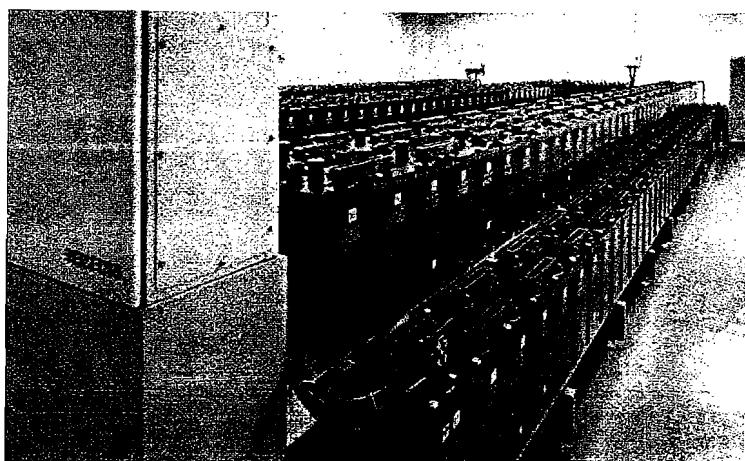


Fig. 11.23 Sala de baterias

11.9.3.4 Principais Formas de Atuação

- *Normal*

O retificador converte a tensão trifásica da rede em tensão contínua estabilizada. Essa tensão alimenta o inversor, que reconverte uma nova tensão trifásica (alternada e estabilizada) para os circuitos ininterruptos. A bateria fica sempre conectada ao circuito intermediário de tensão contínua, o que a mantém permanentemente carregada.

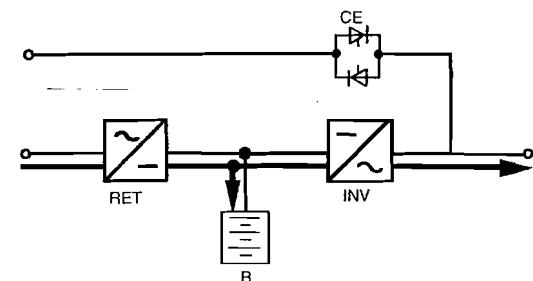


Fig. 11.24 No-break — funcionamento normal

- *Alimentação do Inversor pela Bateria*

No caso de falha na rede (interrupção ou queda), a energia necessária à alimentação dos pontos de consumo é fornecida pelas baterias que estão sempre conectadas ao circuito de corrente contínua. Desta forma, consegue-se o fornecimento ininterrupto de energia, automaticamente. Após o retorno da rede da concessionária ou a entrada do gerador de emergência, o retificador alimenta o inversor, recarregando as baterias.

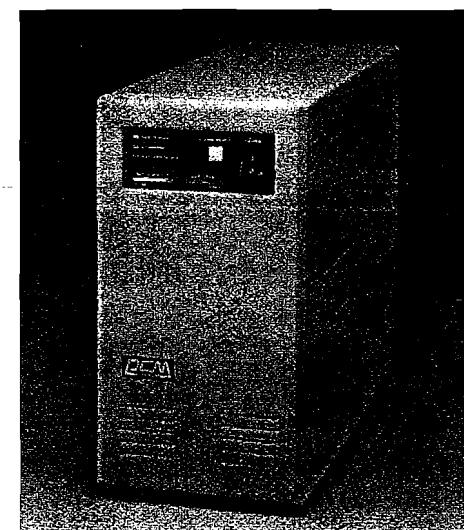


Fig. 11.25 No-break — alimentação pelo inversor

• Alimentação pela Chave Estática

Na ocorrência de uma sobrecarga acima do permitido ou desligamento/falha do inversor, o consumidor será alimentado pela rede normal, através da chave estática. A transferência automática e sem interrupção para a rede normal ocorre porque a chave estática está preparada para essa operação. Cessando a sobrecarga, ocorre o retorno automático e sem interrupção à atuação via inversor/no-break.

Para concluir, desejamos fazer alguns comentários sobre a *chave estática*.

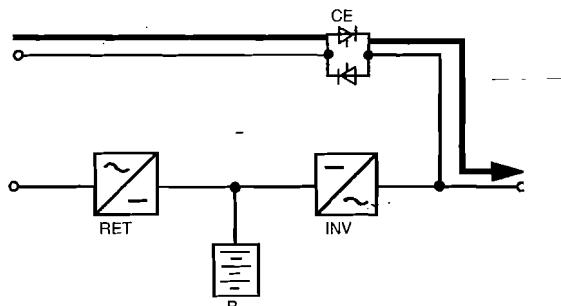


Fig. 11.26 No-break — alimentação pela chave estática

• Chave Estática

Tem como função alimentar o consumidor diretamente da rede, em determinadas situações, descritas a seguir:

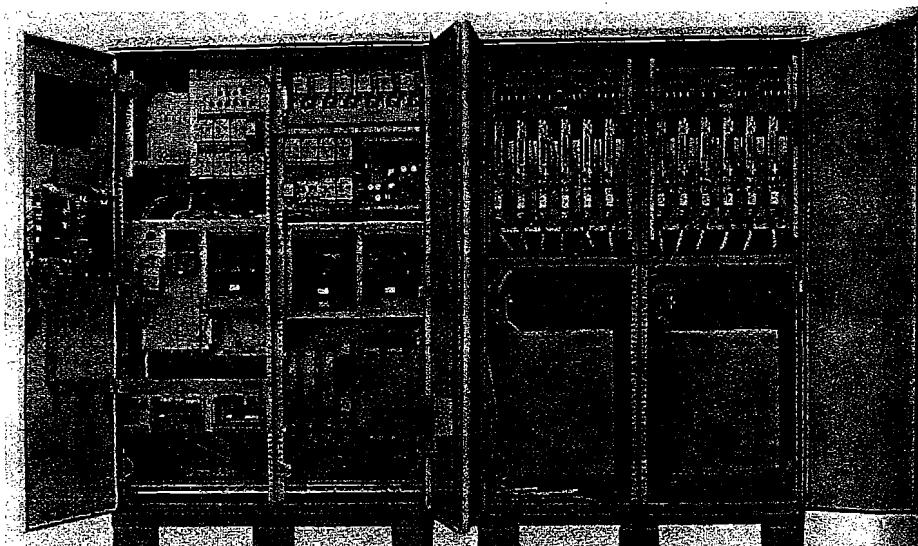


Fig. 11.27 Sistema no-break. Vista interna. Fabricante Siemens

— sobrecarga no inversor com a consequente falha da tensão no barramento ininterrupto, pois está sendo solicitado fora dos limites estabelecidos para a sua atuação;

— desligamento ou falha do inversor;

— transferência da carga que será alimentada pela rede normal, para posterior acionamento do *by-pass* manual (p. ex.: em período de manutenção).

• Fabricantes de No-break

Fabricam esses equipamentos, entre outros, a Asea Brown Boveri (ABB), a Siemens e a Satúrnia.

Recomenda-se que a alimentação para o CPD se faça por um circuito independente, dedicado, apenas, aos equipamentos de processamento de dados. Se a potência absorvida pelo CPD justificar, deve ser previsto um transformador de força para alimentar sólamente os equipamentos de processamento de dados.

12 Eletrotermia

12.1 INTRODUÇÃO

A utilização da energia, sob a forma de calor, é da maior importância em inúmeras operações e processos industriais.

Entre as soluções possíveis para a obtenção de calor destaca-se, por suas vantagens, a energia elétrica, por ser renovável, não-poluente, de suprimento automático e de controle eficiente e simples.

À produção de calor por processos elétricos e magnéticos dá-se o nome *eletrotermia*.

Só se pode pensar em processos industriais com aplicações da eletrotermia se houver suprimento abundante por parte da concessionária de fornecimento de energia elétrica, realizado com regularidade e a custo conveniente. Por isso, uma consulta prévia deve ser feita à concessionária quando se for analisar a oportunidade e a conveniência de usar energia elétrica em caldeiras, fornos e equipamentos de elevado consumo.

Além da vantagem de economizar derivados de petróleo, a eletrotermia apresenta ainda, entre outras, as seguintes:

- Maior uniformidade e qualidade dos produtos fabricados.
- Facilidade de controle do processo.
- Segurança e flexibilidade nas operações.
- Redução da poluição ambiental, pois não há gases de combustão nem poeiras.
- Melhor aproveitamento da matéria-prima.
- Redução de perdas de calor.
- Maior possibilidade de automatização da produção.
- Eliminação do problema de transporte, estocagem e retardamento na entrega de combustíveis.
- Redução no risco de incêndio e menores prêmios de seguro contra incêndio.

12.2 PROCESSOS EMPREGADOS EM ELETROTERMIA

A transformação da energia elétrica em calor pode realizar-se de várias maneiras, cada qual apropriada a uma aplicação tecnológica específica. Mencionaremos alguns processos eletrotérmicos e suas principais aplicações, sem a preocupação de descrever cada um dos equipamentos industriais, objetivo do que chamariamos *equipamentos e processos*. Faremos uma exceção, analisando no item 12.4 o problema do aquecimento de água.

Os principais processos pelos quais se realiza o aquecimento são:

- *Aquecimento por resistência*

A passagem da corrente aquece uma resistência, por efeito Joule. O aquecimento pode realizar na operação uma ação:

- 1 — *Direta*, como ocorre:

- a) Na têmpera de peças metálicas.

- b) No preparo de fios e barras longas, para trefilação.
- c) Em formas de vidro, cerâmica e cozimento de azulejos.
- d) Em banhos químicos.
- e) Na produção de água quente a resistência.
- f) Na geração de água quente e vapor a eletrodo.

2 — *Indireta*, quando o calor produzido por efeito Joule pela passagem da corrente em uma resistência é transferido por *condução*, *radiação* ou *convecção* ao material a ser aquecido.

É o que se verifica, por exemplo:

- a) Na selagem de embalagens plásticas.
- b) No aquecimento de água e produção de vapor.
- c) Em fornos industriais.
- d) Na fusão de metais de baixo ponto de fusão.
- e) No aquecimento de ambientes, em climas frios, por efeito de irradiação e convecção.

- *Aquecimento por indução*

A corrente elétrica alternada, passando por uma bobina, gera um campo magnético que induz, por efeito Foucault, corrente elétrica no material em processamento, a qual produz o aquecimento do mesmo. Usa-se em:

- a) Fornos para fusão de metais e aquecimento de lingotes.
- b) Tratamento térmico superficial de materiais metálicos (cozimento de revestimentos).
- c) Aquecimento prévio a forjadura e laminação de metais.
- d) Aquecimento de moldes.
- e) Fusão do aço e não-ferrosos.
- f) Aquecimento de filetes de solda para alívio de tensões.

- *Aquecimento por arco elétrico*

Estabelece-se um arco elétrico entre dois eletrodos ou entre eletrodos e a carga. A radiação produzida pelo arco se transforma em calor, o qual é aplicado na:

- a) Fusão de aços-carbono e aços-liga.
- b) Fusão de metais não-ferrosos e metais nobres, como o tungstênio, tântalo, titânio, nióbio etc.

- *Aquecimento por radiação infravermelha*

Existem lâmpadas especiais, cujo filamento emite radiações com alto rendimento na faixa infravermelha.

A absorção destas radiações e sua transformação em calor são aplicadas em:

- a) Secagem em geral.
- b) Secagem de recobrimento de acabamento (pintura, esmaltes, deposição de pó etc.) em metais, madeira, cerâmica e plásticos.
- c) Secagem de tecidos.

- *Aquecimento por plasma*

Um arco elétrico concentrado, aquecendo moléculas gasosas, pode determinar a dissociação das mesmas, provocando a formação do que se denomina um plasma. O plasma é, pois, um gás ionizado que corresponde a um quarto estado da matéria. O intenso calor liberado pelas dissociações é que pode atingir temperaturas que variam de 2.000 a 5.000 K e ser transferido ao material que se pretende processar.

Esta modalidade de aquecimento é aplicada em:

- a) Corte de peças de aço inoxidável, de grande dureza.
- b) Fabricação de vidro.
- c) Fabricação de aços especiais, resistentes ao calor e à corrosão.
- d) Produção de dióxido de titânio, de acetileno etc.
- e) Geração de vapor.
- f) Fornos de diversos tipos.

-- A Westinghouse desenvolveu a tecnologia para geração do plasma a "arco tipo tocha" e fabrica no Brasil equipamentos deste tipo.

• *Aquecimento por microondas*

Quando num campo elétrico alternativo estabelecido entre duas superfícies condutoras são colocados certos materiais, maus condutores de eletricidade e de calor, as moléculas destes tendem a assumir um alinhamento paralelo ao campo. O movimento das moléculas gera calor. Este aquecimento, denominado dielétrico ou por radiofrequência (10 e 500 MHz), encontra emprego em:

- Soldagem de materiais em PVC.
- Secagem e colagem de madeira.
- Aquecimento e esterilização em indústria farmacêutica e de alimentos.
- Secagem ou tingimento de tecidos.

• *Aquecimento por raio laser*

O *raio laser* é um feixe de baixa divergência de luz monocromática e de grande concentração energética. Quando suficientemente concentrado, gera uma quantidade de calor capaz de fundir ou evaporar qualquer material no ponto sobre o qual incide. Além de sofisticadas aplicações em medicina, em efeitos luminosos e, eventualmente, como arma bélica, é usado na indústria para:

- Corte de tubos de vidro e quartzo.
- Corte de tecidos para produção em série de roupas.
- Gravação de discos.
- Tratamento térmico de peças.
- Endurecimento de cilindros de motor diesel.

• *Soldagem elétrica*

É o processo térmico com o qual se realiza a união de peças metálicas, com ou sem a contribuição de outro material. Pode processar-se por:

- Fusão*, se o calor for produzido por um arco voltaico estabelecido entre o objeto a soldar e um eletrodo. É a *soldagem a arco*, que pode ser a corrente contínua, corrente alternada e alta freqüência.
- Pressão*, se o calor for produzido por efeito Joule, fazendo atravessar as peças a soldar, fortemente comprimidas uma contra a outra, por uma corrente muito intensa. Trata-se da *soldagem a resistência*. Realiza-se por *pontos*, por *roletes* e a *topo*.
- Perdas dielétricas*, se as peças a serem soldadas são submetidas à ação de um campo elétrico de alta freqüência. É a *soldagem eletrônica*.

12.3 AQUECIMENTO RESISTIVO

A passagem de uma corrente elétrica de intensidade I , em um condutor de resistência R , provoca, como vimos no Cap. 3, um aquecimento do condutor. O calor se propaga do condutor para o meio que o cerca por irradiação, condução ou convecção, conforme o caso.

A potência correspondente à energia dissipada sob forma de calor é dada pela expressão:

$$P = I^2 \times R \quad 12.1$$

sendo I expresso em ampères, R em ohms e P em watts.

A energia dissipada, expressa em watt-hora, é

$$E = P \times T \quad 12.2$$

sendo T o tempo, em horas.

A equivalência entre a quantidade de calor Q e a energia correspondente E permite que se escreva

$$E = Q \quad 12.3$$

Q é expressa em quilocalorias (kcal).

A quantidade de calor necessária para elevar uma massa m de um líquido de calor específico c de uma temperatura inicial t_1 a uma final t_2 é dada por

$$Q = m \times c (t_2 - t_1) \quad 12.4$$

No caso da água, podemos exprimir m como o mesmo número que mede o volume; c é o calor específico em kcal/kgf°C, igual a 1.

Notemos, ainda, que

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal} \quad 12.5$$

A lei de Joule pode ser escrita sob a forma

$$Q = I^2 \times R \times T$$

Considerando o tempo T em segundos, temos, notando que $1 \text{ W} \times \text{s} = 0,00024 \text{ kcal}$.

$$Q = 0,00024 R \times I^2 \times T \quad 12.6$$

Mas, pela lei de Ohm,

$$I_{(\text{amp})} = \frac{U \text{ (volts)}}{R \text{ (ohms)}}$$

de modo que podemos escrever

$$Q = 0,00024 \times U \times I \times T \quad 12.7$$

A resistência R se calcula com

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad 12.8$$

Sendo

ρ a resistividade, em ohm/mm²/m.

Para o cobre, $\rho = 0,0178 \text{ ohm/mm}^2/\text{m}$.

Para o alumínio, $\rho = 0,028 \text{ ohm/mm}^2/\text{m}$.

Para o níquel-cromo (nicrome), $\rho = 1,00 \text{ ohm/mm}^2/\text{m}$.

Para o constantâ, $\rho = 0,50 \text{ ohm/mm}^2/\text{m}$.

l o comprimento do condutor, em metros.

S a seção transversal, em milímetros.

■ Exemplo 12.1

Um condutor de níquel-cromo, com bitola B & S n.º 20 (0,813 mm) e 8,30 m de comprimento, é usado como resistência para aquecimento de água. A tensão é de 110 V. O reservatório contém 150 litros de água a 20°C. Qual será a temperatura da água após 3 horas de aquecimento? Quais a energia consumida e a potência correspondente?

Solução

1 — Resistência elétrica do condutor

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

A resistividade ρ para o nicrome é de 1 ohm/mm²/m

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,813^2}{4} = 0,519 \text{ mm}^2$$

$$R = 1 \times \frac{8,30}{0,519} = 15,99 \text{ ohms.}$$

2 — Intensidade da corrente

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{110}{15,99} = 6,88 \text{ A}$$

3 — Quantidade de calor gerado durante 3 horas.

$$Q = 0,00024 \times R \times I^2 \times T; T = 10.800 \text{ segundos}$$

$$Q = 0,00024 \times 15,99 \times 6,88^2 \times (3 \times 60 \times 60) = 1.961 \text{ kcal}$$

4 — Temperatura da água após 3 horas

$$Q = m \times c (t_2 - t_1)$$

$$1.961 = 150 \times 1 \times (t_2 - 20)$$

$$1.961 + 3.000 = 150 \times t_2$$

$$t_2 = 33^\circ\text{C}$$

5 — Energia consumida

$$E = 1.961 \div 860 = 2,28 \text{ kWh}$$

6 — Potência consumida

$$P = \frac{E}{T} = \frac{2,280 \text{ watts}}{3} = 760 \text{ W}$$

Considerando um rendimento de 90%, o consumo efetivo será de $760 \div 0,90 = 844 \text{ W}$.

■ Exemplo 12.2

Um aquecedor elétrico tipo rápido, de 18 litros, deve ser capaz de elevar de 15°C a temperatura da água, num intervalo de 12 minutos. Qual a energia gasta? Qual a potência instalada?

Solução

1 — Dados

$$V = 18 \text{ l}$$

$$T = 12 \text{ minutos}$$

$$\Delta t = (t_2 - t_1) = 15^\circ\text{C}$$

2 — Quantidade de calor fornecido

$$Q = m \times c \times (t_2 - t_1)$$

$$Q = 18 \times 1 \times 15 = 270 \text{ kcal}$$

3 — Energia despendida, E

$$E = Q$$

860 kcal correspondem a 1 kWh

$$E = 270 \text{ kcal} = 0,314 \text{ kWh}$$

4 — Potência instalada

O aquecimento se realiza em 12 minutos, ou seja, em $12 \div 60 = 0,2$ de uma hora.

$$\text{Mas, } P = \frac{E}{T} = \frac{0,314 \text{ kWh}}{0,2 \text{ hora}} = 1,57 \text{ kW} = 1570 \text{ W.}$$

12.4 AQUECEDORES ELÉTRICOS DE ÁGUA

Os fabricantes de aquecedores elétricos para água fabricam-nos nas seguintes modalidades:

12.4.1 AQUECEDORES INSTANTÂNEOS

Depois de passar pela resistência aquecida, a água é imediatamente utilizada, não havendo reservatório de acumulação para a mesma. É o caso dos chuveiros elétricos e dos aquecedores elétricos automáticos para alta e baixa pressões, da Lorenzetti S.A. e de outros fabricantes nacionais.

Os chuveiros normais e de luxo, as torneiras e as duchas elétricas automáticas da Lorenzetti operam sob 110/220 V e 2.000/2.800 W. Os aquecedores elétricos automáticos *versátil* e de *embutir*, do mesmo fabricante, funcionam sob 110/220 V, com potência de 3.500 W.

12.4.2 AQUECEDORES RÁPIDOS

Possuem reservatório de pequena capacidade (15 a 18 l), de modo que em poucos minutos a água aquece, atingindo a temperatura desejada. Não necessitam de carga elétrica instalada tão grande quanto os instantâneos.

12.4.3 AQUECEDORES COM RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO (ELECTRIC HEATERS)

A resistência elétrica colocada em um tubo de cobre, do qual é mantida separada, pode aquecer a água a 70°C e até mesmo acima de 80°C. Um termostato interrompe a passagem da corrente quando a temperatura da água atinge o valor predeterminado. Embora não se destinem a produzir vapor, são às vezes designados por *boilers*. A Fig. 12.1 mostra esquematicamente um aquecedor de acumulação que trabalha sempre cheio e com água sob pressão.

Os fabricantes apresentam em seus catálogos os dados técnicos necessários à escolha e à instalação dos aquecedores de acumulação.

A Tabela 12.1 refere-se aos aquecedores Geraltherm elétricos para 80 e 120 l de acumulação.

A Fig. 12.2 apresenta dados do aquecedor elétrico linha residencial de luxo, de Aquecedores Cumulus S/A Indústria e Comércio.

12.5 CALDEIRAS ELÉTRICAS PARA GERAÇÃO DE VAPOR

Para que se possa realizar um estudo econômico-financeiro comparativo, com base nos custos do kWh e do peso de óleo combustível de BPF (baixo ponto de fluidez), deve-

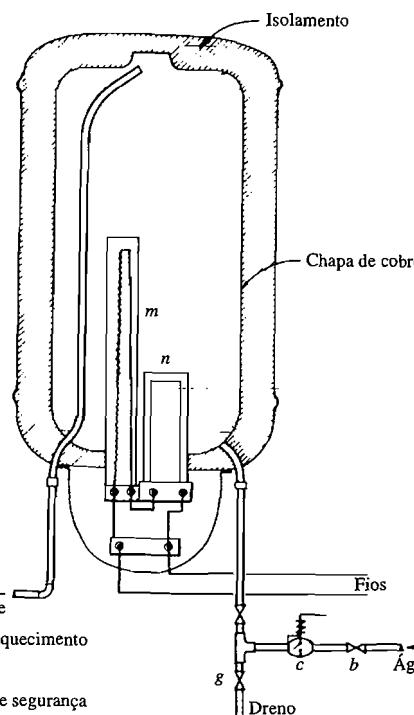
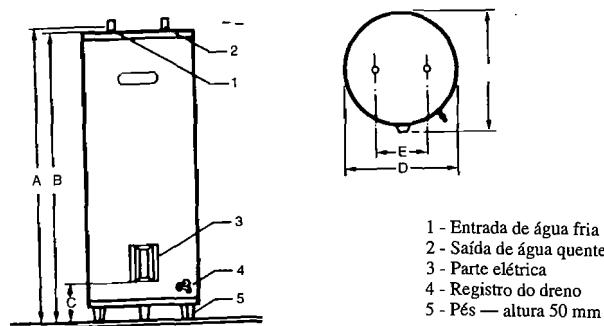


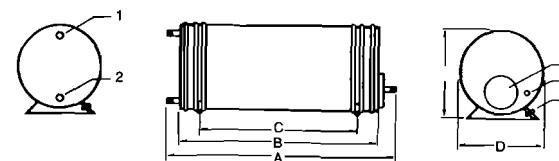
Fig. 12.1 Aquecedor elétrico com reservatório de acumulação



1 - Entrada de água fria
2 - Saída de água quente
3 - Parte elétrica
4 - Registro do dreno
5 - Pés — altura 50 mm

Volume (litros)	50	75	100	125	150	175	200	250
Dimensões em mm	A	780	980	1.180	1.380	1.580	1.780	1.480
	B	735	935	1.135	1.335	1.535	1.735	1.435
	C	150	150	150	150	150	150	150
	D	460	460	460	460	460	560	560
	E	210	210	210	210	210	210	210
	F	510	510	510	510	510	610	610
Watts	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	2.000	2.000

(a) Aquecedor vertical



1 - Saída de água quente
2 - Dreno de limpeza
3 - Parte elétrica
4 - Entrada de água fria
5 - Cintas de fixação e apoio (reguláveis para piso, parede ou teto)

Volume (litros)	50	75	100	125	150	175	200	250
Dimensões em mm	A	780	980	1.180	1.380	1.580	1.780	1.480
	B	680	880	1.080	1.280	1.480	1.680	1.380
	C	460	660	860	1.060	1.250	1.450	1.160
	D	460	460	460	460	460	560	560
	E	470	470	470	470	470	570	570
Watts	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	2.000	2.000
Ampères	14/7	14/7	14/7	14/7	14/7	14/7	9	9

(b) Aquecedor horizontal

Fig. 12.2 Aquecedores elétricos linha residencial de luxo, da Cumulus

Tabela 12.1 Aquecedor elétrico Geraltherm, da Companhia Geral de Indústrias

Geraltherm Elétrico	GE 300	GE 365	GE 400	GE 485
Altura (mm)	940		1350	
Largura = ϕ (mm)		454		
Profundidade = ϕ (mm)		454		
Bitola entrada água		3/4 BSP		
Bitola saída água		3/4 BSP		
Peso aparelho vazio (kg)	38		50	
Peso aparelho c/água (kg)	118		170	
	GE 300	GE 365	GE 420	GE 485
Capacidade calorífica		860 kcal/kW		
Capacidade acumulação (1)	80			
Potência resistência (Wh).....	1.500	3.000	1.500	3.000
Tempo aquecer 1 l a 80°C (min)	5,30	2,45	5,30	2,45
Tempo aquecer com Δt 20°C (min) ..	145	73	220	110
Tempo aquecer com Δt 60°C (min) ..	440	220	660	330
Perda térmica em 12 h (°C)		18		18
Capacidade de recuperação (l/h)	60	125	60	125
Capacidade utilização (l/h)	300	325	420	485

Capacidade de utilização: é o volume expresso em litros de água fornecido pelo aquecedor na primeira hora de utilização medida, com um aumento de 20°C (Δt 20°C), estando o aparelho no início na sua temperatura máxima de aquecimento.

Capacidade de recuperação: é o volume expresso em litros de água fornecido pelo aquecedor em uma hora de aquecimento em regime de utilização, elevando a temperatura da água de 20°C para 40°C (Δt 20°C).

se partir dos consumos destas duas modalidades de energia para uma desejada produção horária de vapor. A Tabela 12.3 mostra o consumo de óleo BPF e de energia elétrica para um certo número de valores de peso de vapor produzido.

12.5.1 MODALIDADES DE CALDEIRAS ELÉTRICAS

Usam-se três modalidades de caldeiras com geração de vapor por meio de energia elétrica:

- **Tipo resistência**

Assemelham-se a aquecedores de água. Tensão de alimentação de 220 V a 440 V. Capacidade pequena. Em geral, os fabricantes as fornecem de 30 kgf/h até 2.000 kgf/h, podendo chegar a 5.000 kgf/h, e para pressões de até 10 kgf/cm². A Tabela 12.4 apresenta dados de caldeiras, tipo resistência, da ATA — Combustão Técnica S.A., que podem operar também como aquecedores de água.

- **Tipo eletrodo submerso**

Baseiam-se na resistência oferecida pela água à passagem da corrente elétrica. Funcionando como um condutor de elevada resistência, submetida a uma tensão de 2.300 V a 13.800 V entre eletrodos, a água é aquecida até a vaporização. Existem dois tipos:

- a) eletrodo submerso com contra-eletrodo e
- b) eletrodo submerso com compartimento interno superior na caldeira.

Vejamos como funciona a caldeira a eletrodo submerso com contra-eletrodo da Sulzer-Brown Boveri, fabricada no Brasil (Fig. 12.3). Os três eletrodos (1), um por fase, dispostos a 120°, são montados verticalmente e apoiados no topo superior da caldeira através de buchas de entrada de corrente, convenientemente isoladas.

Os tubos contra-eletrodos (2) são montados solidamente fixados ao casco da caldeira e envolvem completamente os eletrodos.

Tabela 12.2 Aquecedores elétricos de acumulação. Potência elétrica em função da capacidade do aquecedor

Consumo Diário de Água Quente a 70°C (litros)	Capacidade do Aquecedor (litros)	Potência Instalada (kW)
60	50	0,75
95	75	0,75
130	100	1,00
200	150	1,25
260	200	1,50
330	250	2,00
430	300	2,50
570	400	3,00
700	500	4,00
850	600	4,50
1.150	750	5,50
1.500	1.000	7,00
1.900	1.250	8,50
2.300	1.500	10,00
2.900	1.750	12,00
3.300	2.000	14,00
4.200	2.500	17,00
5.000	3.000	20,00

A corrente elétrica passa através da água acumulada na parte inferior da caldeira entre o eletrodo ligado à entrada da corrente e o contra-eletrodo fixado ao casco da caldeira, aterrado, aquecendo a água e produzindo vapor que sobe para a câmara de vapor, situada na parte superior do casco da caldeira.

Um tubo de porcelana (3) interpõe-se entre o eletrodo e o contra-eletrodo, delimitando a quantidade de água na qual passa a corrente elétrica, regulando, deste modo, a quantidade de vapor produzida:

- a) Com o tubo isolador na parte superior — produção de vapor, 100%.
- b) Com o tubo isolador na posição inferior — produção de vapor, 0%. Os três tubos isoladores, de regulação da quantidade de vapor produzido, são solidariamente ligados a um tubo central que pode receber um movimento vertical, graças à ação de um servomotor montado na parte superior da caldeira.

Uma bomba (4), montada externamente à caldeira, faz recircular a água na mesma e refrigera cada um dos eletrodos separadamente, através dos tubos de alimentação (5), evitando a ocorrência de pontos com temperatura excessivamente elevada e arrastando para a parte superior da caldeira as bolhas de vapor formadas na água, entre o eletrodo e

Tabela 12.3 Produção de vapor com óleo BPF e com eletricidade

Produção de Vapor kgf/h	Consumo de Óleo Combustível (kgf/h) Água a		Potência Instalada (kW) Água de Alimentação a 100°C
	28°C	80°C	
30	2,3	2,1	20
75	5,8	5,3	50
100	7,7	7,0	67
200	15,4	14,1	134
300	23,1	21,1	201
400	30,8	28,2	268
500	38,5	35,2	335
800	61,5	56,3	536
1.000	76,9	70,4	669
1.500	115,4	105,6	1.004
2.000	153,8	140,8	1.339
3.000	230,8	211,3	2.008
4.000	307,7	281,7	2.678
5.000	384,6	352,1	3.347
6.000	461,5	422,5	4.017
8.000	615,4	563,4	5.355
10.000	769,2	704,2	6.694
12.000	923,1	845,0	8.033
14.000	1.076,9	985,9	9.372
16.000	1.230,8	1.126,8	10.710
18.000	1.384,6	1.267,6	12.050
20.000	1.538,5	1.408,4	13.389

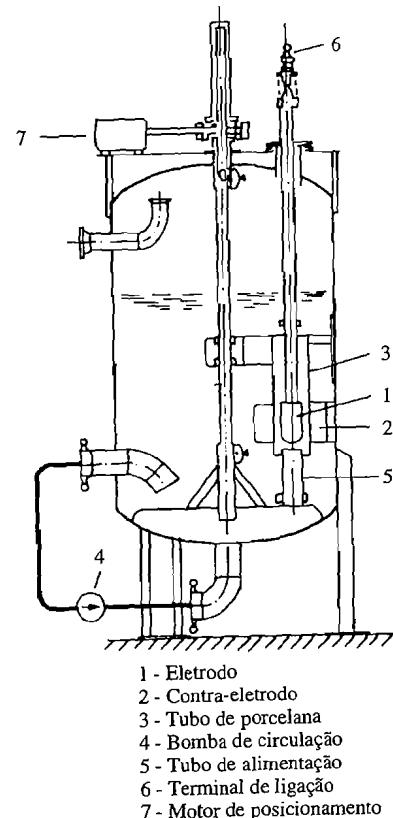


Fig. 12.3 Caldeira elétrica Sulzer-Brown Boveri a eletrodo submerso com contra-eletrodo

o contra-eletrodo. Isto permite uma regulagem contínua e sem variações significativas de corrente por fase, o que é muito importante.

As conexões de tensão primária de alimentação são feitas diretamente nos terminais dos eletrodos (6), eliminando a necessidade de estágio de transformação intermediário da tensão primária para uma tensão secundária.

Os três eletrodos conectados às três fases nunca ficam em contato, através da água da caldeira, porque entre eles estão sempre interpostos os contra-eletrodos, ligados ao casco da caldeira, devidamente aterrado. Assim, mesmo que a condutividade da água suba anormalmente, o sistema elétrico da caldeira não desliga por curto-circuito entre fases.

As caldeiras a eletrodo submerso exigem água tratada, de modo a ter muito baixa condutividade.

Funcionam com tensões de alimentação de 3,8 a 13,8 kV, potências de 1.500 a 6.000 kW e 1.500 a 10.000 kgf de vapor por hora. Pressões de 5 a 15 kgf · cm⁻².

As caldeiras de eletrodo submerso com cuba superior podem fornecer maiores quantidades de vapor. A Tabela 12.5 apresenta os dados de caldeira desse tipo, da ATA — Combustão Técnica S.A.

A Tabela 12.6 dá indicações das caldeiras ASEA tipo *Zeta*, de eletrodo submerso, fabricadas no Brasil.

Tabela 12.4 Caldeira tipo resistência de ATA — Combustão Técnica S.A.

Modelo	Produção de Vapor kgf/h	Potência Necessária kW	Capacidade de Água Quente kcal/h	Comprimento Total (mm)
30-E	30	20	24.500	1.256
75-E	75	50	58.800	1.700
100-E	100	67	73.500	1.700
200-E	200	134	132.400	2.000
300-E	300	201	206.000	2.000
400-E	400	268	264.800	2.000
500-E	500	335	353.100	2.000
800-E	800	536	529.700	2.000
1.000-E	1.000	669	647.400	2.000
1.500-E	1.500	1.004	1.000.600	2.000
2.000-E	2.000	1.339	1.250.700	2.200

Nota: Água de alimentação da caldeira a 100°C.

Tabela 12.5 Caldeira de eletrodo submerso com cuba superior, da ATA — Combustão Técnica S.A.

Modelo	Produção de Vapor kgf/h	Potência Instalada kW
1.000 EL	1.000	669
2.000 EL	2.000	1.339
3.000 EL	3.000	2.008
4.000 EL	4.000	2.678
5.000 EL	5.000	3.347
6.000 EL	6.000	4.017
8.000 EL	8.000	5.355
10.000 EL	10.000	6.694
12.000 EL	12.000	8.033
14.000 EL	14.000	9.372
16.000 EL	16.000	10.710
18.000 EL	18.000	12.050
20.000 EL	20.000	13.389

Observação: Água de alimentação a 100°C.

Tabela 12.6 Caldeiras ASEA, tipo Zeta, de eletrodos submersos

Caldeira Tipo Z D K	Caldeira Tipo Z D K I	Potência (MW)			
		Tensão 3,8 kV	Tensão 6,6 kV	Tensão 11 kV	Tensão 13,8 kV
1.400	1.600	2-5			
1.800	2.000		3-10		
2.200	2.500			10-15	5-25
2.400	2.700			15-25	25-40
2.800	3.200				40-50
3.000	3.400				
3.200	3.600				5-30
					30-50

Existem caldeiras ASEA, tipo Zeta (eletrodos submersos), sob tensão de 15 kV.

Caldeira elétrica a jato de água

A Fig. 12.4 representa esquematicamente a caldeira elétrica a jato de água, da Sulzer-Brown Boveri, mostrada em fotografia na Fig. 12.5.

A água armazenada na parte inferior do corpo da caldeira é bombeada pela bomba de recirculação (5) ao cilindro superior (3), onde estão montados injetores para jateamento da água. Os diversos jatos de água formados nos injetores ou tubeiras fluem por gravidade contra os eletrodos (8), criando diversos percursos para passagem de corrente elétrica. Os três eletrodos (ou três grupos de eletrodos) correspondentes a cada fase são dispostos verticalmente, em círculo, rodeando o cilindro superior, na parede do qual estão montados os conjuntos de injetores.

A corrente elétrica passa através dos jatos de água, provocando aquecimento e vaporização de uma parte dos mesmos. Toda a água não-evaporada nesta primeira fase flui para baixo, por um tubo coletor, e cai formando um jato contínuo sobre o contra-eletrodo (10), criando um segundo caminho para passagem da corrente elétrica. Nestes dois percursos a água é aquecida e vaporizada parcialmente pela corrente que circula nas resistências constituidas pelos jatos de água.

A água não-evaporada é recolhida na parte inferior da caldeira. Assim, entre o ponto neutro do sistema elétrico (constituído pelo corpo da caldeira, pelo tubo de injetores e pelo contra-eletrodo) e os eletrodos, são produzidos, para cada fase, dois caminhos de percurso constante para passagem da corrente: um, entre o tubo injetor e os eletrodos, e o outro, entre os contra-eletrodos e os eletrodos.

O controle de produção de vapor e, portanto, da pressão, no sistema, faz-se através de um servomotor, montado na parte superior da caldeira, transmitindo um movimento vertical ao defletor de jato (4), controlando, deste modo, o número de jatos que incidem sobre os eletrodos. Este sistema permite garantir uma regulação contínua da vazão de vapor entre 0 e 100%, através do regulador de pressão e limitador de potência.

Estas caldeiras são fabricadas pela Sulzer-Brown Boveri para potências de 1.000 a 50.000 kW e tensões de 6 a 20 kV, para pressões de 5 a 30 kgf · cm⁻².

O gráfico Fig. 12.6 a fornece o peso de vapor por kWh para várias temperaturas de água de alimentação, em função da pressão de serviço.

Na Fig. 12.6 b, temos as curvas de variação da potência em função da tensão, para caldeiras de um até cinco eletrodos por fase, dos modelos ESD indicados na Tabela 12.7.

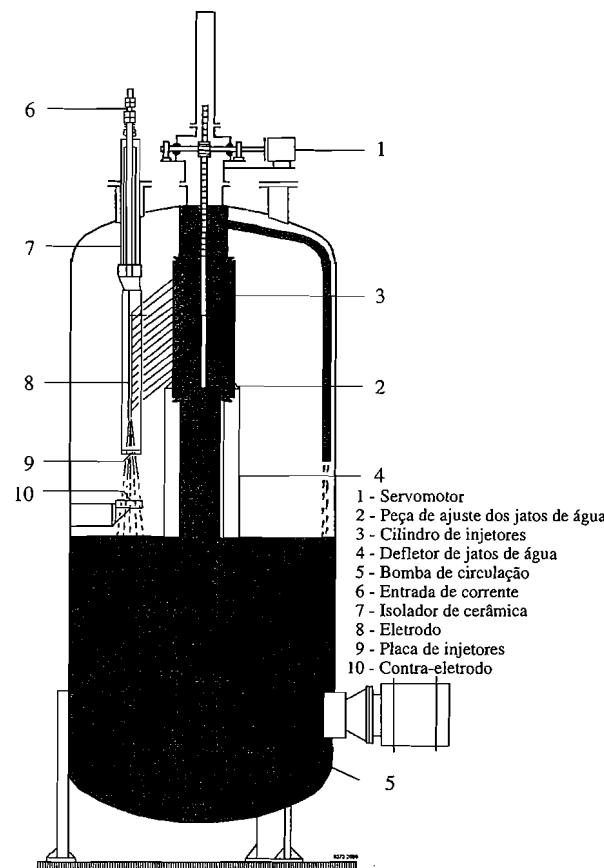


Fig. 12.4 Caldeira elétrica a vapor de água da Sulzer-Brown Boveri

Tabela 12.7 Caldeiras elétricas a jato de água da Sulzer-Brown Boveri

Dimensões (mm)					
Modelo	Altura Máxima	Diâmetro Máximo	N.º de Eletrodos por Fase	N.º de Bombas de Circulação	Capacidade Máxima (kW) (U = 13,2 kV)
ESD - 1847	6.300	2.000	1	1	7.000
ESD - 2248	6.400	2.400	2	1	14.000
ESD - 2454	7.000	2.600	3	1	22.000
ESD - 2658	7.400	2.800	4	2	28.000
ESD - 2858	7.400	3.000	5	2	35.000
ESD - 3160	7.600	3.300	6	2	42.000

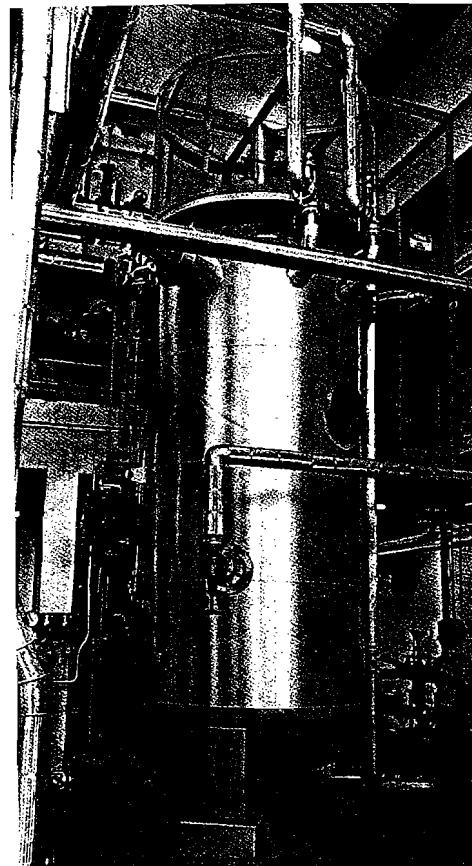


Fig. 12.5 Caldeira elétrica a jato de água, tipo ESD 1.846, instalada numa fábrica de papel

Tensão de alimentação 13,8 kV

Potência 5.200 kW

Pressão de serviço 15 kg/cm²

Capacidade de produção de vapor 7,5 t/h

Fabricante: Sulzer-Brown Boveri

12.5.2 CONTROLE E PROTEÇÃO DE CALDEIRAS ELÉTRICAS

O sistema de controle da caldeira visa a atender às seguintes variáveis:

- Pressão na caldeira.
- Potência elétrica consumida, em função da demanda de vapor.
- Nível de condensado na caldeira.
- Condutividade elétrica da água da caldeira.

Além dos dispositivos de controle, existem os aparelhos de segurança contra excesso de pressão e baixo nível de água.

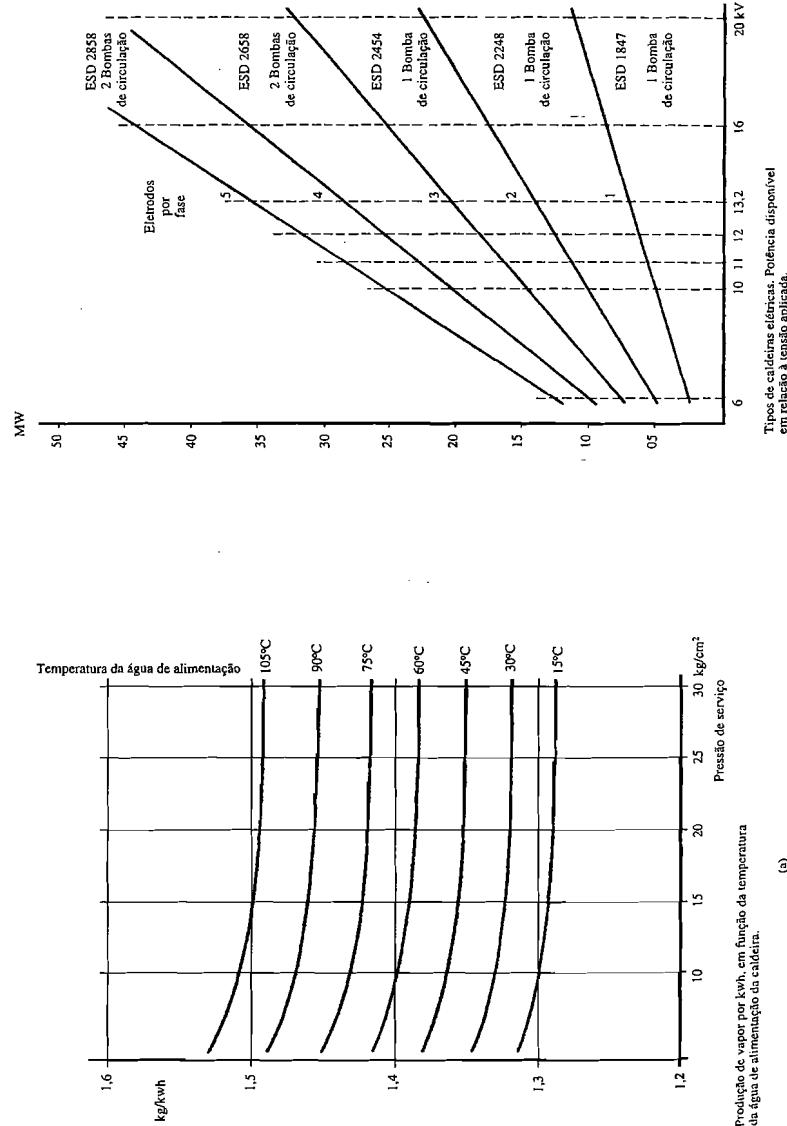


Fig. 12.6 Caldeiras elétricas a jato de água da Sulzer-Brown Boveri

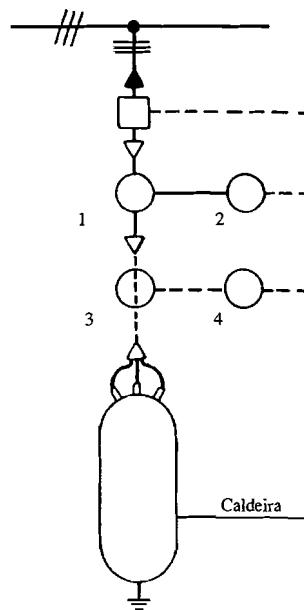
Os fabricantes de caldeiras elétricas, em seus catálogos, apresentam informações detalhadas sobre estes equipamentos de controle, proteção e instrumentação correspondente. Faremos referência, apenas, à proteção elétrica, tema mais de acordo com os objetivos deste livro.

12.5.3 PROTEÇÃO ELÉTRICA DAS CALDEIRAS

São duas as prováveis falhas elétricas a temer:

- Curto-circuito entre fases.* Para detecção das falhas entre fases, utilizam-se relés de sobrecorrente de fase, ligados ao alimentador da caldeira. Os relés de proteção são ajustados para operação a valores de corrente logo acima do nominal da caldeira ($1,2 \times I_n$), determinando o desligamento do disjuntor do alimentador da caldeira.
- Falhas entre fase e terra.* As falhas entre fase e terra são detectadas por um relé de sobrecorrente ligado a um transformador de corrente totalizador (TC janela), o qual envolve os cabos das três fases que alimentam a caldeira.

Os valores de corrente de falha à terra podem ser bastante reduzidos em função das características da própria instalação e da falha (falha através de arco). Em geral, a proteção é ajustada à operação (desligamento do disjuntor) com valores de corrente de falha da ordem de 10% da corrente nominal da caldeira.



- 1 - Transformadores de corrente de fase
- 2 - Relés de sobrecorrente de fase
- 3 - Transformador de corrente janela
- 4 - Relé de sobrecorrente de terra

Fig. 12.7 Proteção elétrica da caldeira

12.6 FORNOS ELÉTRICOS

Uma das mais importantes aplicações da energia elétrica na indústria vem a ser a utilização de fornos elétricos.

As principais modalidades de fornos elétricos estão descritas a seguir.

12.6.1 FORNOS A RESISTÊNCIA

- Podem ser:
 - De *aquecimento direto*. O calor é obtido fazendo-se passar uma corrente elétrica através do material que se quer fundir. Ex.: forno de grafitação de eletrodos e produção de carborundo.
 - De *aquecimento indireto*. São dos seguintes tipos:
 - a) *Fornos de condução*. Possuem paredes formadas por um material cerâmico que traz, incorporados, os eletrodos necessários ao aquecimento. São usados em processos eletroquímicos de revestimento e recocimento de metais ferrosos e não-ferrosos; em têmperas e cementação.
 - b) *Fornos de convecção*. Constam de uma câmara cilíndrica de eixo vertical, em cujas paredes são distribuídos os elementos aquecedores, protegidos por uma tela de aço inoxidável. A circulação da atmosfera do forno é ativada por um ventilador, colocado, geralmente, em câmara separada.

A potência de aquecimento varia entre 10 e 100 kW. Usam-se no tratamento térmico de eixos engrenagens, parafusos e outros elementos de máquina que exigem temperaturas não superiores a 900 ou 950°C.

c) *Fornos de irradiação*. São constituídos por uma carcaça metálica, de perfil e chapas, revestida internamente de materiais refratários. As resistências são distribuídas perifericamente de modo a assegurar uniformidade de temperatura no interior do forno. A temperatura das resistências chega a 1.200°C, usando-se como material a liga Ni Cr (80/20), ou liga de cantal.

Emprego: Operações de têmpera, recocimento, cementação e cozimento de cerâmicas, com temperaturas de trabalho entre 750 e 1.300°C.

12.6.2 FORNOS A ARCO

Utilizam o arco voltaico entre eletrodos e o material metálico a ser fundido (*fornos de arco direto*) ou entre eletrodos mergulhados na massa de material a ser fundido (*fornos de redução*). Existem as modalidades:

- Fornos a arco elétrico de eletrodo único, usados na fusão de sucata de aço. Ocorre um consumo de 1,7 kgf de grafite por tonelada de metal em estado líquido, no forno de eletrodo único da ASEA Elétrica Ltda. Usa-se um retificador de corrente para alimentação do eletrodo.
- Fornos a arco voltaico de eletrodos múltiplos, alimentados em corrente alternativa. Consegue-se grande produção nos modernos fornos UHP (*ultra high power*) da ASEA, isto é, nos de ultraconcentração de potência.

12.6.3 FORNOS DE INDUÇÃO

Existem dois tipos principais, que são:

- *Forno cadinho*.
- *Forno canal*.

Indicaremos, apenas, a título de exemplo, o forno a indução tipo *cadinho de frequência de rede*, da ASEA Elétrica Ltda., como o descreve o engenheiro Aristides Betzias, da Seção de Fornos Elétricos da ASEA Elétrica Ltda.

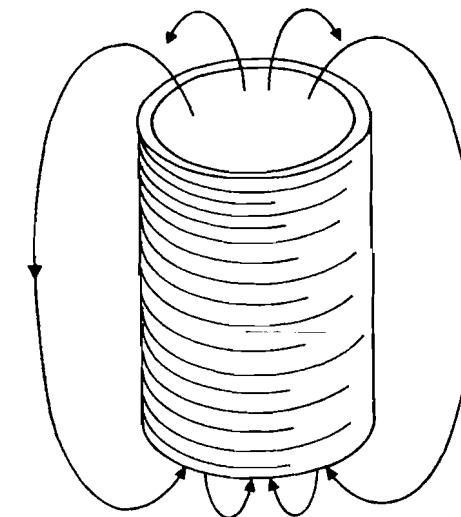


Fig. 12.8 Campo eletromagnético gerado pelo solenoíde

A circulação de corrente elétrica em qualquer condutor gera um campo eletromagnético ao seu redor. No caso particular de este condutor ter a forma de uma bobina (solenóide), o campo eletromagnético gerado terá a configuração indicada na Fig. 12.8, ou seja, concentrado e com sentido único no interior da bobina. Ao mesmo tempo, no lado externo, tem tendência a se dispersar.

Considerando haver no interior desta bobina um núcleo de material metálico, este será sede de correntes parasitas (correntes de Foucault), as quais provocam seu aquecimento (Fig. 12.9).

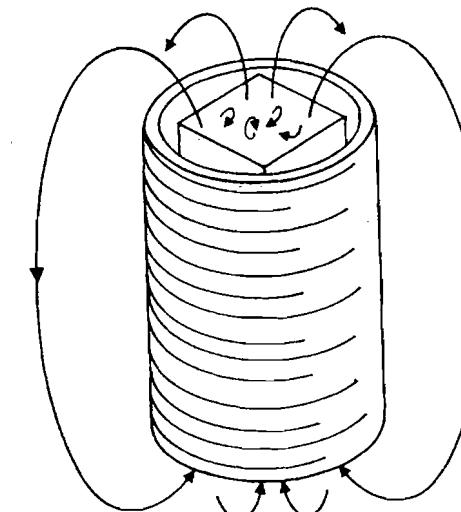


Fig. 12.9 Núcleo metálico no interior do campo eletromagnético

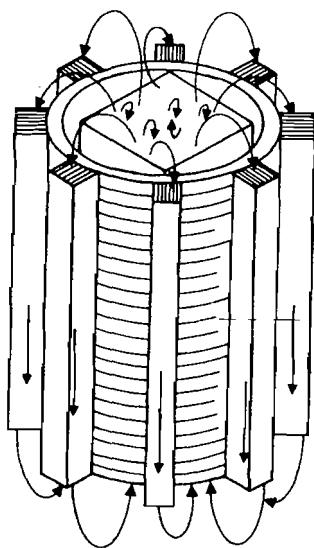


Fig. 12.10 Bobina circundada por núcleos de aço-silício que funcionam como uma blindagem

Para evitar que haja sobreaquecimento das estruturas metálicas externas à bobina, pela ação do campo eletromagnético disperso, a bobina é circundada por um núcleo constituído de lâminas de aço-silício, que conduzem o campo externo, evitando sua dispersão e atuando como uma blindagem. Esta configuração é ilustrada na Fig. 12.10.

Colocando no interior da bobina, em vez da peça metálica das Figs. 12.9 e 12.10, um cadinho (cuba) de material refratário, com uma carga metálica, pode-se aumentar a potência da bobina a ponto de as correntes induzidas fundirem essa carga. A Fig. 12.11 mostra o conjunto do cadinho com o metal, circundado pela bobina e os núcleos de aço-silício. A intensidade das correntes induzidas é função da potência da bobina, a qual, por sua vez, é proporcional à massa do material a ser fundido.

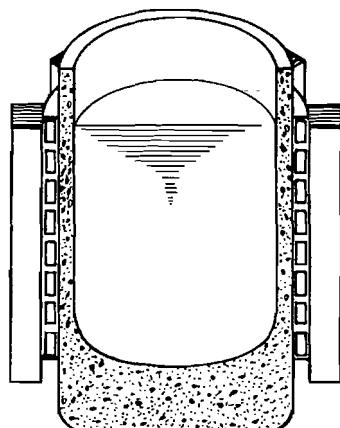


Fig. 12.11 Cadinho colocado no interior da bobina, para derreter a carga metálica

13 Subestações Abaixadoras de Tensão

13.1 FORNECIMENTO DE ENERGIA EM TENSÃO PRIMÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO

Quando a carga a ser instalada é grande, torna-se inconveniente para a concessionária realizar a alimentação de energia em baixa tensão, pois, além de ter que arcar com o ônus da construção e montagem de uma subestação na via pública, tem que entrar na propriedade particular com cabos de grande capacidade e, portanto, de elevado custo. Não obstante estes inconvenientes, até a potência de 75 kW, a Light, por exemplo, realiza a alimentação em 220/127 V ou 380/220 V e 230/115 V e, quando necessário, instala transformador em poste ou em cabine subterrânea (*vault*) próxima à entrada do cabo alimentador. Cada concessionária estabelece a carga instalada, acima da qual é exigida do interessado a montagem de uma subestação abaixadora de tensão, e realiza, então, o fornecimento em tensão primária, isto é, com a tensão da rede. Para o caso da área de concessão da Light — Serviços de Eletrociadade S.A., as tensões e cargas são as seguintes:

13.1.1 TENSÕES NOMINAIS

Em corrente alternada trifásica, na freqüência de 60 Hz: 34,5 kV e 13,8 kV.

O sistema de tensão nominal de 25 kV está sendo convertido para 34,5 kV, e o de 6 kV, para 13,8 kV, de modo a ficarem apenas 34,5 kV e 13,8 kV, respectivamente.

As subestações dos consumidores a serem ligadas em áreas supridas presentemente na tensão de 6 kV deverão ter seus equipamentos com níveis de isolamento adequados para futuro suprimento à tensão de 13,8 kV, e as S.E. sob tensão atual de 25 kV, para tensão de 34,5 kV.

Em locais onde a rede é subterrânea e em *network*, isto é, interligada, a Light fornece energia em tensão secundária, sem limite de carga.

13.1.2 CARGAS

O fornecimento pode ser efetuado em tensão primária de distribuição, desde que a demanda requerida seja superior a 75 kW e não ultrapasse 2.500 kW.

Potências superiores ou inferiores a estes limites poderão ser atendidas, em tensão primária ou secundária, a critério da concessionária, quando condições técnicas-económicas de seu sistema o permitirem. Assim, para uma indústria de grande porte e elevado consumo, pode vir a ser necessária alimentação em até mesmo 125 kV, o que exigirá prolongamento de linha de alta tensão e subestação adequada. De modo geral, acima de 75 kW, diversas concessionárias preferem o fornecimento em tensão primária.

Para a execução de instalações elétricas em tensões de 0,6 a 15 kV, vigoram os regulamentos locais das concessionárias. Ao elaborar um projeto em área de uma determina-

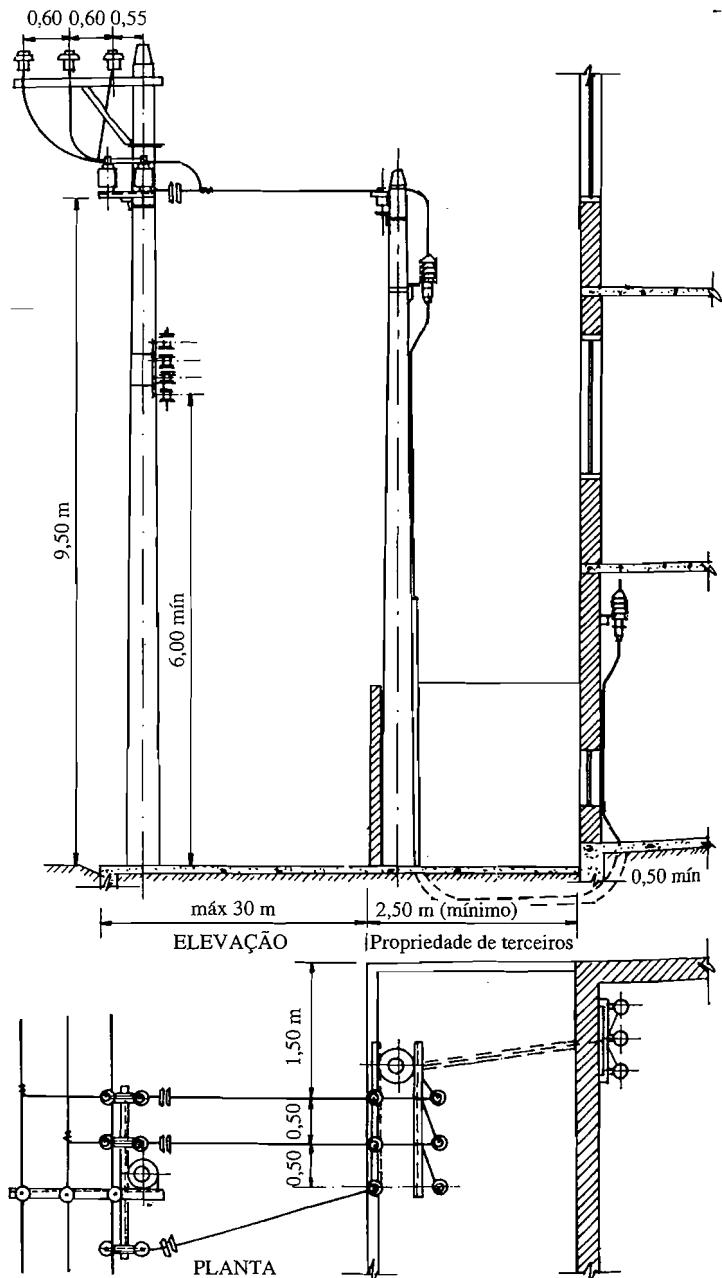


Fig. 13.1 Rede externa aérea e entrada subterrânea. (Cortesia Manual RSC, Light)

da concessionária, é imprescindível que o projetista procure obter da mesma as normas, especificações e desenhos padronizados.

13.2 MODALIDADES DE SUBESTAÇÕES

Conforme a maneira pela qual é feita a *alimentação*, podem ser:

- De *entrada aérea*, quando da rede aérea da concessionária, é feita a alimentação de chaves e transformadores, com barramentos sempre aéreos.
- De *entrada subterrânea*, quando o cabo alimentador subterrâneo da concessionária é colocado em dutos enterrados e, a partir de uma mufla localizada na subestação, seguem os barramentos para as chaves, disjuntores e transformadores.

No caso de ser aérea a rede da concessionária e subterrânea a entrada, instala-se uma mufla no poste, para descida do cabo (Fig. 13.1).

Neste caso, o poste de descida deverá ficar dentro dos limites da propriedade do consumidor.

Conforme a modalidade de *medição de energia*, podemos ter:

- Subestação com medição em alta tensão. É o caso mais usual.
- Subestação com medição em baixa tensão.

Segundo a *localização*, as subestações podem ser de:

- *Instalação ao tempo ou aérea*. O equipamento fica ao ar livre, cercado por tela protetora, fixado em armação metálica. Quanto maior a tensão primária, tanto mais econômicas e funcionais serão as subestações aéreas em relação às do segundo tipo, que vem a ser:
- *Instalação abrigada*. O equipamento fica localizado em um compartimento com 3 metros e 6 metros de altura (Fig. 13.2).

Nas subestações do tipo *blindadas* para instalação externa ou interna, os equipamentos são abrigados em cubículos metálicos, individualizados ou não. Só podem ser usados para suprimento através de ramal subterrâneo (Fig. 13.3).

Conforme sua *função específica*, as subestações se dividem em:

- Subestação de consumidor para *manobra, proteção e medição*.
- Subestação de consumidor para *transformação de tensão*. Nestas, além do abaixamento da tensão, são feitas a manobra e a medição e assegurada a proteção.

13.3 SUBESTAÇÃO ATÉ 13,8 KV

Trataremos, apenas, de subestações com esta tensão primária. Para tensões maiores, deve ser consultado o manual da concessionária local.

Podemos considerar dois casos:

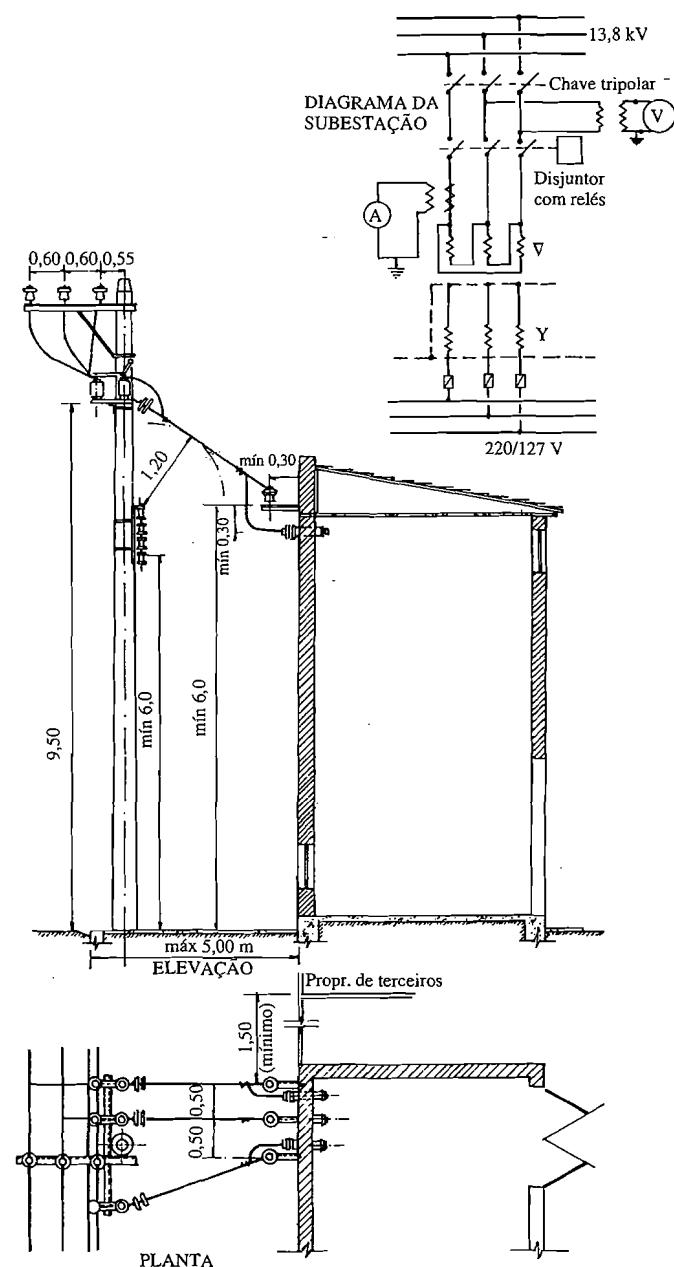
- a) A carga é de até 225 kVA.
- b) Cargas superiores a 225 kVA.

Faremos a seguir uma exposição sintética sobre as exigências formuladas pela Light para estes dois casos.

13.3.1 PRESCRIÇÕES QUANTO ÀS SUBESTAÇÕES

13.3.1.1 De Caráter Geral

- Devem ser localizadas preferivelmente junto ao alinhamento da via pública, salvo recuo imposto pelas autoridades.
- Mediante acordo entre o consumidor e a concessionária, a subestação pode ficar afastada do alinhamento, desde que o comprimento total do ramal não ultrapasse 100 metros.



Nota: Distâncias fornecidas pelo Manual de Regulamentação para Suprimentos de Consumidores em Tensão Primária de Distribuição, da Light Serviços de Eletricidade S.A.

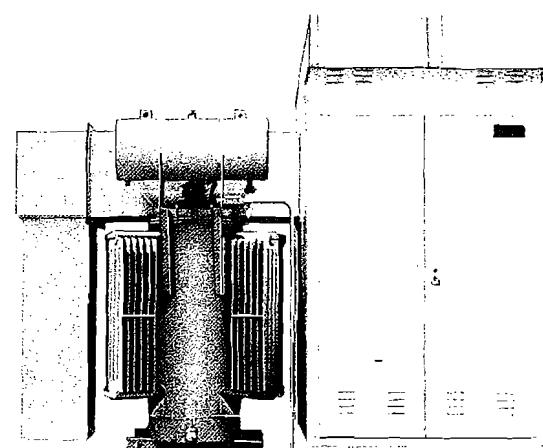


Fig. 13.3 Subestação blindada para medição, proteção e distribuição com transformador flangeado

- Para afastamentos que ultrapassem o comprimento citado, deve ser construída no alinhamento da via pública, ou com recuo máximo de 10 metros, uma *subestação de manobra, proteção e medição* provida de disjuntor (Fig. 13.4).

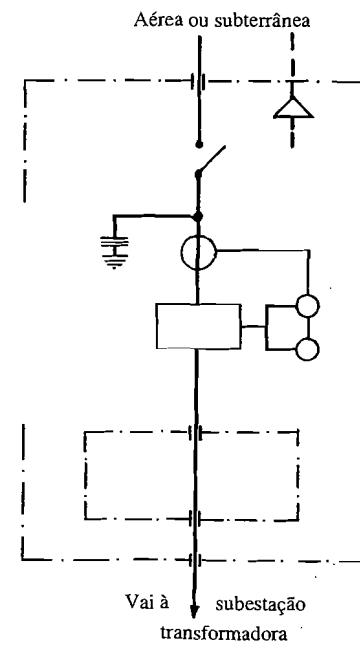


Fig. 13.4 Subestação de consumidor de manobra, proteção e medição

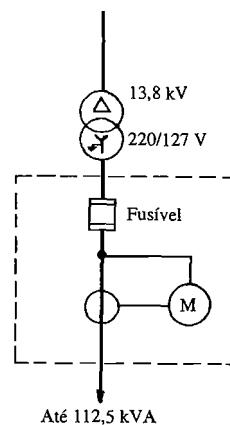


Fig. 13.5 Subestação com medição em baixa tensão, ligação provisória

- No caso de subestações de até 112,5 kVA, com pedido de ligação em caráter provisório, pode ser usada a instalação simplificada, com medição em baixa tensão, conforme mostra o diagrama unifilar da Fig. 13.5.
- Nas subestações de até 225 kVA, pode-se realizar a proteção por meio de fusíveis na alta tensão. É o que mostra a Fig. 13.6, onde, em (a), vê-se o diagrama unifilar

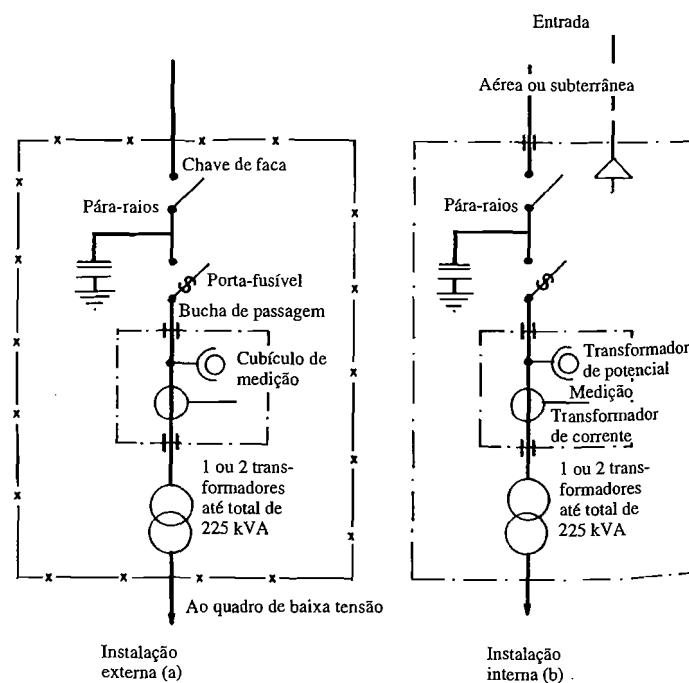


Fig. 13.6 Subestações de até 225 kVA

para o caso de instalação externa, e em (b), para a instalação interna. A planta baixa correspondente a este diagrama unifilar e os cortes respectivos estão representados na Fig. 13.7. É necessário que a carga ligada não seja fortemente oscilante, como acontece quando há fornos, máquinas elétricas de soldagem e similares.

- Para cargas superiores a 225 kVA, é colocado um disjuntor em vez de fusíveis, como se observa na Fig. 13.8, para uma única entrada e alimentação de dois transformadores. A planta baixa e os respectivos cortes estão representados na Fig. 13.9.

Na Fig. 13.10, observa-se o que acontece quando se trata de duas entradas independentes (dupla alimentação) alimentando um banco de dois transformadores. Neste caso, deve existir um dispositivo de intertravamento entre os dois disjuntores (ver item 11.9).

- Quando se tratar apenas de uma subestação de consumidor, de manobra, proteção e medição (portanto, sem-transformador), o esquema a adotar é o da Fig. 13.4 já referido.
- O ramal de ligação aérea não deverá ser maior do que 40 metros e não poderá passar sobre edificações.
- O ramal de ligação subterrânea utiliza dutos a uma profundidade de 0,50 m em relação ao nível do solo. As caixas de passagem devem ficar distanciadas entre si, no máximo, 25 m.
- As caixas de passagem devem ter as seguintes dimensões internas: 0,8 m × 0,8 m × 0,8 m.
- Os postes podem ter 9, 10, 10,5 ou 11 metros, devendo ser levado em consideração que os condutores do ramal devem passar 6,0 metros, no mínimo, acima de qualquer terreno.

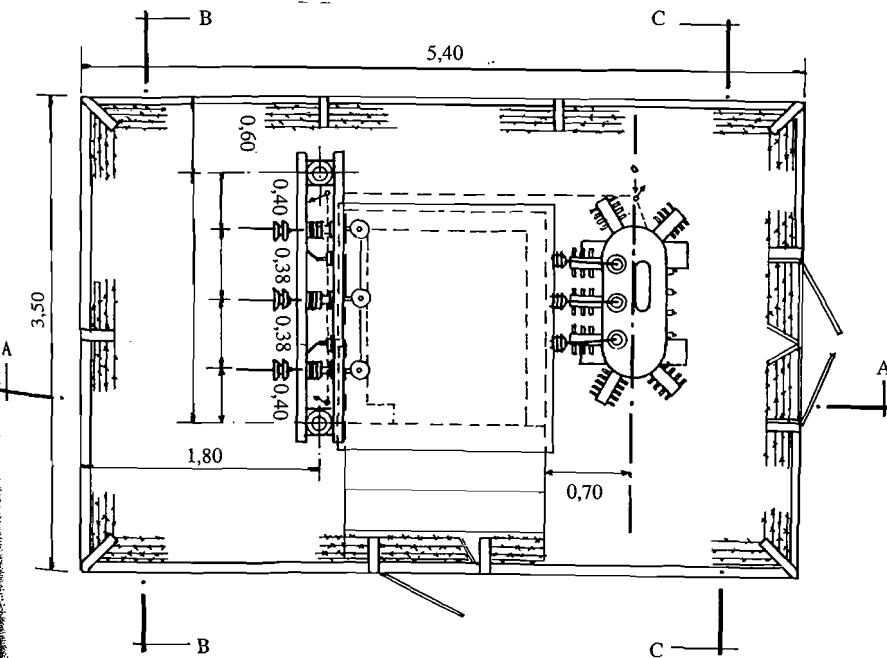


Fig. 13.7 Subestação de 13,8 kV, até 225 kVA, instalada ao tempo, com um só transformador. Corresponde ao diagrama unifilar da Fig. 13.6 (a). Planta baixa. (Cortesia Manual RSC, Light)

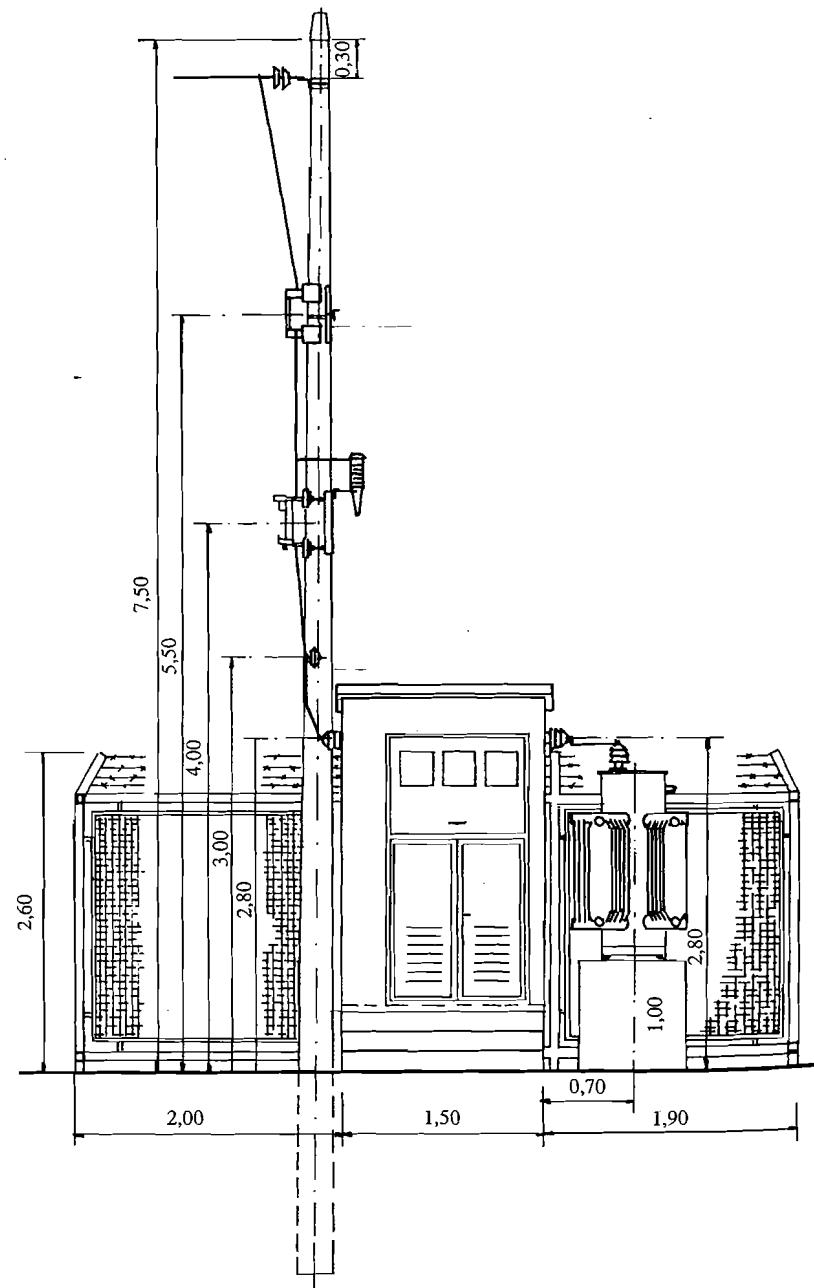


Fig. 13.7 (cont.) Corte A-A. (Cortesia Manual RSC, Light)

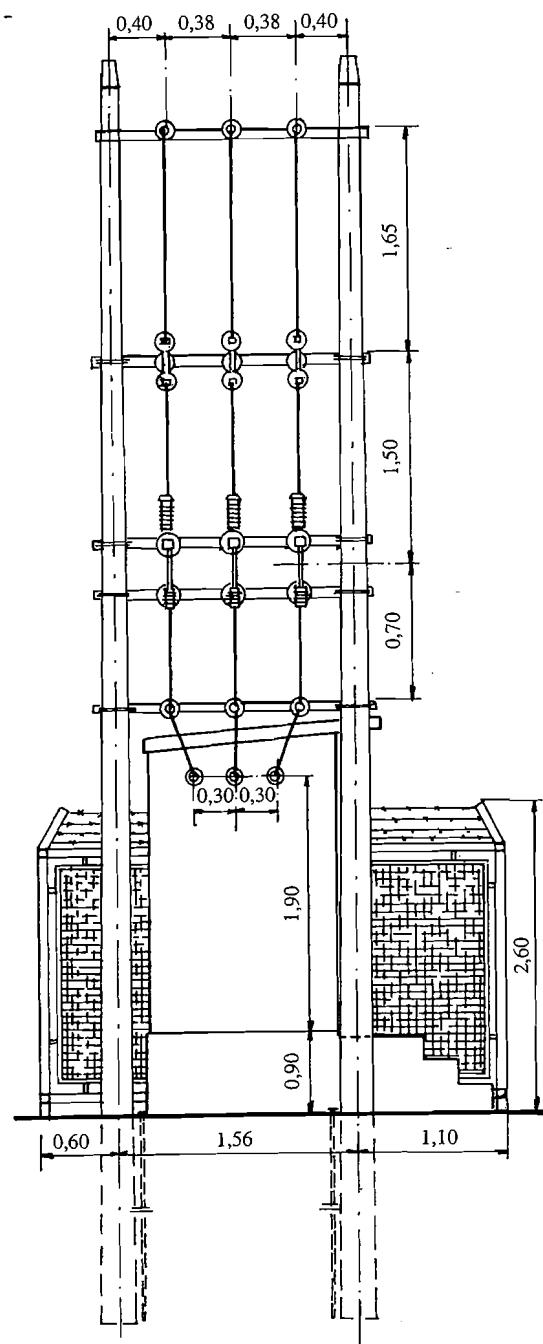


Fig. 13.7 (cont.) Corte B-B. (Cortesia Manual RSC, Light)

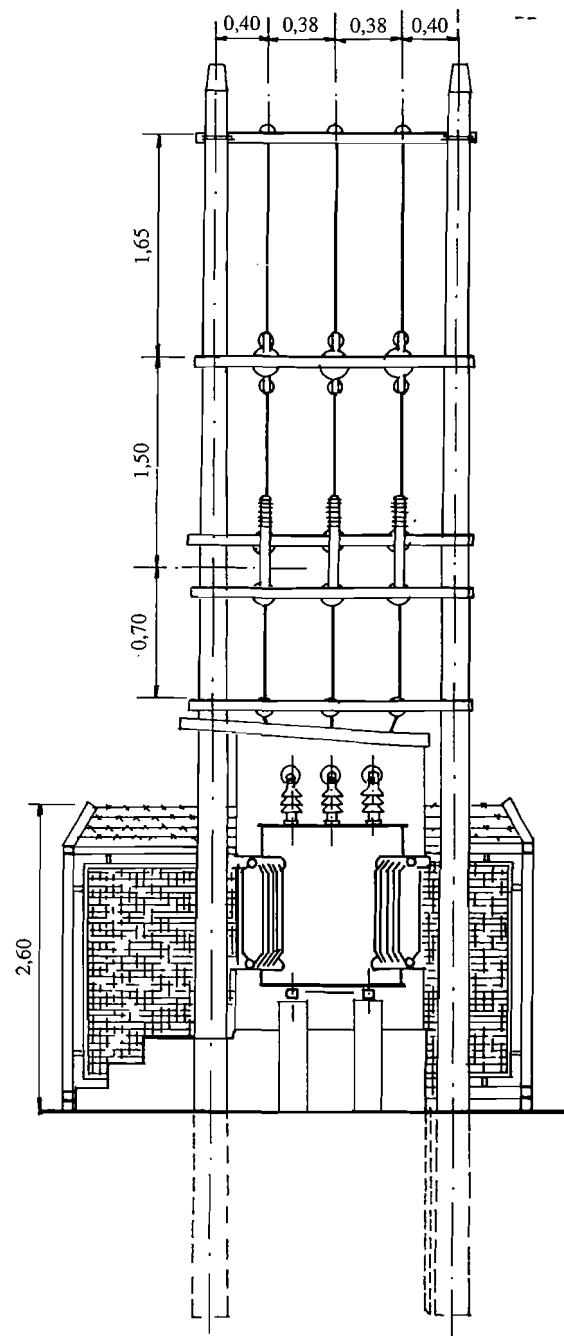


Fig. 13.7 (cont.) Corte C-C. (Cortesia Manual RSC, Light)

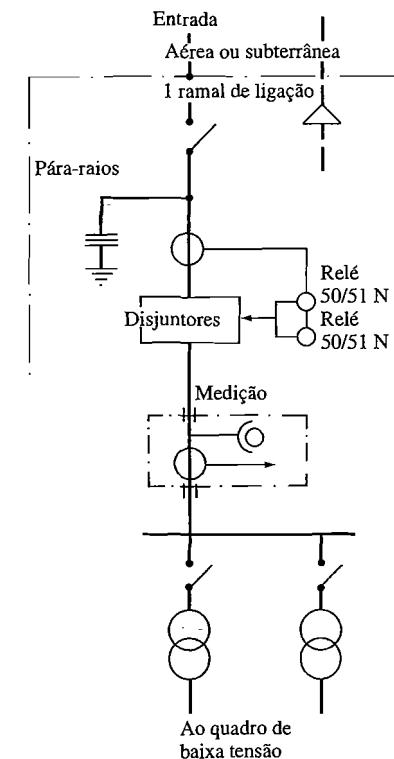


Fig. 13.8 Proteção do ramal de entrada com disjuntor, no caso de um só ramal

13.3.1.2 Cabos

Podem ser do tipo unipolar ou tripolar, *armados* ou *não-armados*. Se forem empregados cabos não-armados, estes devem ter, em todo o seu percurso, proteção mecânica adequada, como manilhas de barro vidrado, dutos de PVC (diâmetro interno mínimo de 127 mm, nos dois casos) ou canaletes com tampas de proteção adequadas. Convém ser examinada a conveniência da instalação de uma linha de dutos reservas.

Os cabos do tipo armado podem ser enterrados diretamente no solo.

13.3.1.3 Proteção

A proteção da subestação deve ser assegurada por meio de disjuntor, instalado na entrada da mesma, e com capacidade mínima de ruptura de 12 kA simétricos, devendo ser feita prévia consulta à concessionária. O disjuntor deverá ser equipado com relés primários ou secundários, de acordo com a capacidade transformadora da subestação.

Em subestações de até 1.000 kVA, podem ser usados relés primários de sobrecorrente, com elementos instantâneo e temporizado independentes (não sendo permitido o uso de bobinas de disparo).

O limite de 1.000 kVA para uso de relés primários é reduzido para 600 kVA nos casos em que a proteção não seja instalada junto à transformação, ou seja, caso haja subestação intermediária (Fig. 13.4).

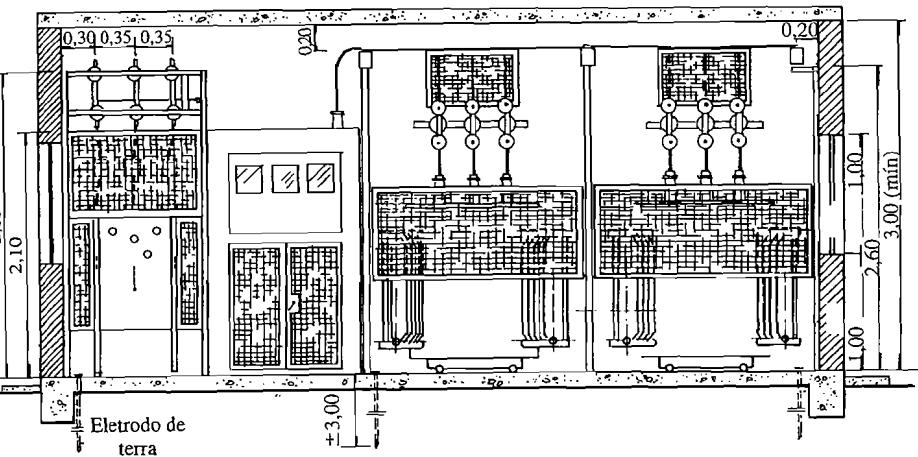
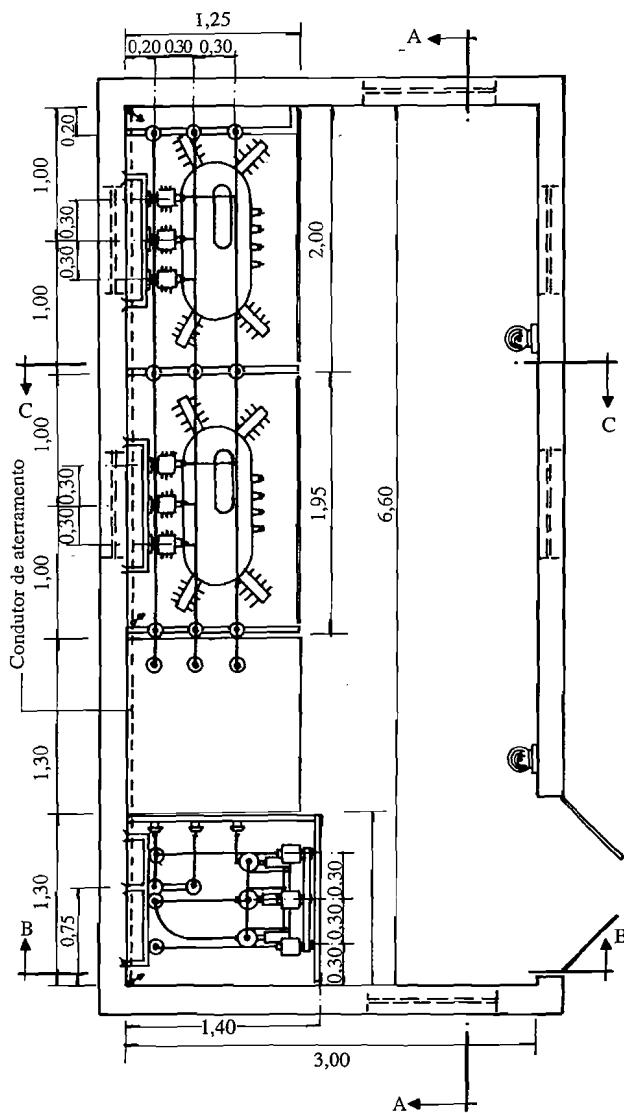


Fig. 13.9 (cont.) Corte A-A

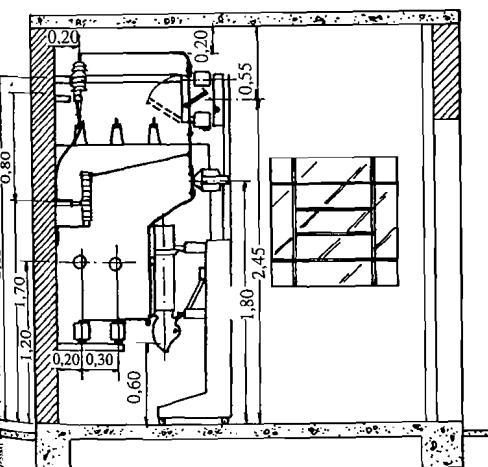
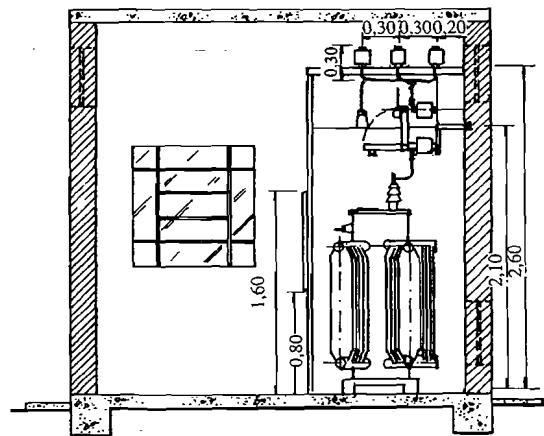


Fig. 13.9 (cont.) Corte B-B

Fig. 13.9 (cont.) Corte C-C.
(Cortesia Manual RSC, Light)

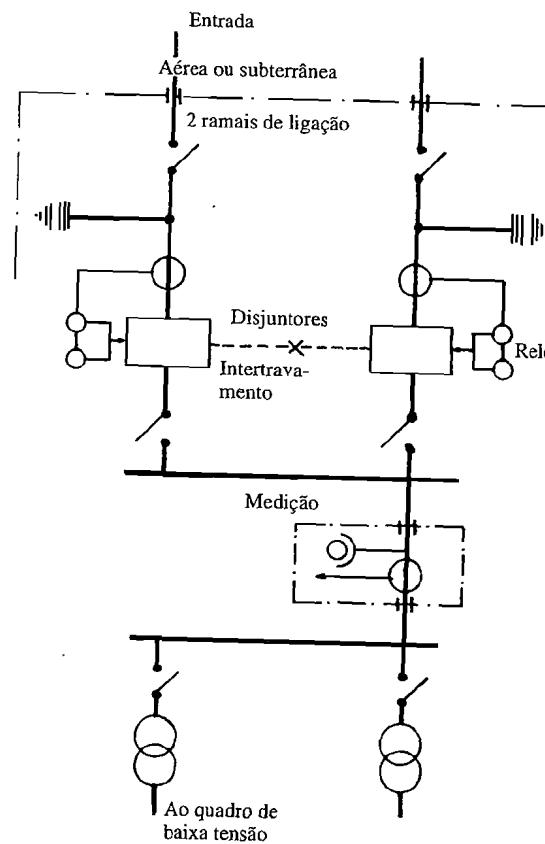


Fig. 13.10 Proteção de dois ramais independentes, de entrada, com disjuntores

Caso seja excedido o limite citado (1.000 kVA em subestações de manobra, proteção e medição), deverão ser usados relés secundários de sobrecorrente de fase e de neutro, com elementos temporizados (ou instantâneos).

Nas subestações de até 225 kVA em que forem usados fusíveis, estes deverão queimar com o dobro da corrente normal da instalação ou com 3,5 vezes esta corrente, em 1 segundo, no máximo.

13.3.1.4 Transformadores

Devemos fazer algumas reflexões sobre as diferenças entre *transformadores a seco* e *transformadores a óleo*.

Os transformadores de força normalmente empregados nas instalações elétricas — tanto comerciais como industriais e residenciais — utilizam como meio isolante e refrigerante o óleo mineral. Após vários acidentes, como incêndios e explosões, procurou-se desenvolver um líquido isolante mais seguro.

Inicialmente (e por muitos anos), foi adotado o óleo PCB, também denominado ascarel. Compostos químicos termicamente estáveis, os PCBs não são biodegradáveis, têm ten-

dência à bioacumulação, são produtos tóxicos e cancerígenos, representando, portanto, sérios riscos à vida.

Os PCBs, também denominados difenil policlorados, estão proibidos no Brasil (e na maioria dos países) desde janeiro de 1981 para novas instalações.

Como substituto do ascarel, vem se utilizando um fluido de silicone, nas aplicações em que uma maior segurança é necessária. O fluido de silicone, apesar de mais seguro que o óleo mineral, tem custo significativamente mais elevado. As exigências, no que se refere ao local de instalação, são as mesmas para transformadores a óleo.

O risco de propagação das chamas, quando o transformador está envolvido em um incêndio, não fica eliminado, e sim apenas reduzido pelo fato de o óleo de silicone ser menos inflamável que o óleo mineral.

Num sistema de transformador está completamente imune contra riscos de incêndio e explosão. O aumento da densidade dos líquidos, o número crescente de subestações interconectadas e impedâncias reduzidas indicam um aumento no potencial para falhas nos equipamentos elétricos de força.

A possibilidade de um arco provocar a ruptura do tanque de um transformador depende muito da natureza do líquido isolante. Observa-se, entretanto, que os óleos minerais constituem riscos de incêndio maior que os fluidos de silicone.

Os testes realizados nos EUA, quando o fluido de silicone foi forçado a queimar, o calor liberado foi aproximadamente a metade do liberado pelo óleo mineral. O grau de toxicidade liberado pelos gases na combustão do silicone foi relativamente baixo.

Nos testes simulados com fluido de silicone e óleo mineral mostram que ambos podem explodir ou estender o fogo, quando se inicia a combustão por meio de uma tocha. O óleo mineral, entretanto, foi o único que, retirando-se a fonte de calor, entrou em combustão completa.

A combustão do fluido de silicone liberou uma nuvem de fumaça de cor branca e menos pesada. Dados de combustão de pirólise indicaram que os materiais desprendidos pelo silicone são menos tóxicos que os óleos minerais.

Pelas razões expostas, os transformadores a seco aparecem como a opção mais segura para as instalações elétricas prediais, sobretudo quando a subestação é construída dentro da edificação.

Tensão nominal: 15 kV.

Taps no primário: 13.800/ 13.200/ 12.600 volts (para as subestações a serem ligadas ao sistema de 13.800 V existente) e 13.800/ 13.200/ 12.600/ 12.000/ 6.900/ 6.600/ 6.300/ 6.000 volts (para as subestações a serem ligadas provisoriamente no sistema 6.000 V).

A ligação dos transformadores é em *delta*, no lado primário, e em *estrela*, no lado secundário.

A tensão no secundário pode ser de 440-380-220 ou 127 V.

Os transformadores usam um dos seguintes isolantes: o óleo mineral, o ascarel, o ar ou um gás inerte. Podem ser a seco (os mais modernos).

Óleo mineral — O óleo contido em um tanque envolve completamente o núcleo e as bobinas do transformador. Para melhorar a superfície irradiadora de calor e a circulação interna de óleo por convecção, usam-se radiadores (superfície do tanque corrugada, tubos) e, em certos casos, ventiladores. Oferecem risco de combustão.

Ascarel — Pyranol, Aroclor, PCB (*polychlorinated biphenyl*) ou clophen. São produtos químicos líquidos, de grande poder isolante, com a vantagem de não serem inflamáveis, embora altamente tóxicos.

A ruptura da caixa do transformador isolado com ascarel, devido a um eventual defeito nas bobinas, provocará a formação de gases de elevado grau de toxicidade. O ascarel não é biodegradável, não podendo ser lançado *in natura* em razão de seus terríveis efeitos nos seres vivos, estando, por este motivo, proibido seu uso.

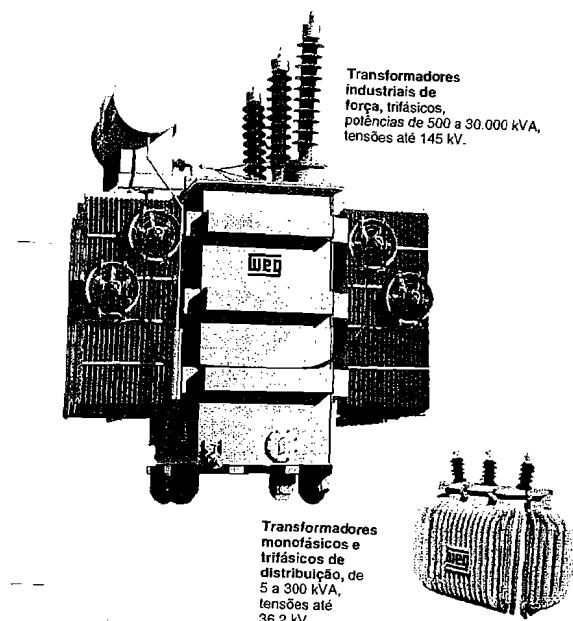


Fig. 13.11 a Transformadores a óleo mineral, Weg

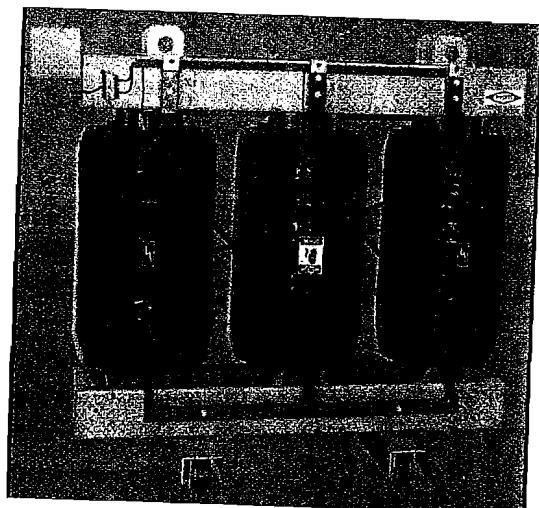


Fig. 13.11 b Transformadores de média tensão a seco encapsulados em epóxi, Waltec

Ar — Os enrolamentos são isolados com materiais muito resistentes à ação do calor e ficam expostos ao ar. A proteção mecânica do transformador não deve dificultar a circulação do ar por convecção térmica, e por isso deverá ser provida de aberturas adequadas. O local da instalação deve ser muito bem ventilado.

Gás inerte — O núcleo e as bobinas são colocados em um tanque contendo um gás inerte sob pressão, como, por exemplo, o nitrogênio.

Em edifícios, dá-se preferência a *transformadores a seco*, pois não explodem e não oferecem perigo de incêndio. Necessitam, apenas, de uma boa circulação de ar para resfriamento. Podem ser colocados em andares de edifícios, desde que esta exigência seja atendida. Em indústrias, podem ficar em recinto aberto, desde que sejam protegidas as partes energizadas contra contato pessoal ou material transportado. Nos EUA, Canadá, França, Suécia e outros países, dá-se preferência ao emprego de transformadores resfriados a ar, no interior de edifícios, para tensões da classe 15 kV.

13.3.1.5 Pára-raios

Devem ser da classe 5 kA, equipados com desligador automático, e possuir as seguintes características:

Tensão nominal: 15 kV.

Tensão disruptiva de impulso atmosférico cortado na frente: 62 kV.

Nas subestações de instalação interna ligadas através do sistema primário de distribuição subterrânea, *não é exigida a instalação de pára-raios*.

Os terminais de terra dos pára-raios devem ser conectados às blindagens dos cabos, e todo conjunto aterrado por um único condutor, tão curto quanto possível.

13.3.1.6 Chaves de Faca

Características:

Tensão máxima de operação	15 kV
Corrente nominal mínima	200 A
Corrente nominal de curta duração	8 kA

Devem ser instaladas de forma que, quando abertas, as lâminas fiquem sem tensão.

13.3.1.7 Chaves Fusíveis

Características:

Tensão máxima de operação	15 kV
Corrente nominal mínima	100 A
Capacidade de ruptura mínima	12 kA

A corrente nominal dos elos fusíveis a serem empregados deve ser inferior a 200% da corrente primária dos transformadores (calculada a partir da potência aparente [kVA] autorizada).

13.3.1.8 Barramentos e Isoladores

Os isoladores para apoio do barramento e das derivações devem ter as seguintes características mínimas:

Tensão disruptiva a seco, a 60 Hz	40 kV
Distância de escoamento	220 mm

A seção do condutor a ser empregado nos barramentos deverá ser dimensionada em função da carga e da corrente de curto, porém nunca inferior a $71,25 \text{ mm}^2$ (diâmetro de $3/8"$), caso seja usado vergalhão de cobre eletrolítico.

13.3.1.9 Aterramento

Todas as partes metálicas normalmente não-energizadas, bem como o neutro e o páraroio, devem ser aterradas.

A malha de aterramento deve ser composta de, no mínimo, seis hastes, espaçadas entre si a uma distância maior ou igual ao seu comprimento.

A resistência da malha de aterramento não deve ser superior a 10 ohms, em qualquer época do ano.

13.3.1.10 Geração Própria

Não é permitido o paralelismo de geradores com o sistema da concessionária, mesmo que momentaneamente. No caso de utilização de geradores, seu projeto de instalação deve ser submetido, previamente, à apreciação da concessionária.

13.3.1.11 Bomba-d'água para Instalação de Proteção contra Incêndio

Caso a potência total das bombas-d'água para proteção contra incêndio requeira suprimento por parte da concessionária, em tensão primária de distribuição (13,8 kV):

- Deve ser construída uma subestação independente com a finalidade única de atender a este propósito.
- Esta subestação deve ser construída junto ao alinhamento da propriedade com a via pública; ser de fácil acesso e preferivelmente isolada de outras edificações.
- Pode, também, ser requerida à concessionária uma ligação em baixa tensão, com a finalidade específica de atender o equipamento de proteção contra incêndio e pânico.

13.4 PRÉDIOS COM MAIS DE UMA SUBESTAÇÃO

Em certos prédios, motores de vários equipamentos podem ficar localizados na cobertura, representando uma carga elétrica considerável. São os motores dos elevadores, os da instalação central de água gelada de ar condicionado do sistema *fan-coils*, os das torres de resfriamento etc.

O suprimento de energia em baixa tensão até estes equipamentos representaria uma despesa muito grande. Pode-se pensar em montar, além da subestação inferior (térreo, subsolo etc.), uma outra, na cobertura, alimentada sob a mesma tensão (digamos, 13,8 kV).

Na Fig. 13.12 vemos um diagrama unifilar do gênero. A entrada de energia é em 13,8 kV. Do barramento seguem dois alimentadores em alta tensão, um para a subestação inferior (térreo, subsolo etc.), uma outra, na cobertura, alimentada sob a mesma tensão (digamos, 13,8 kV).

Em edifícios de muitos pavimentos e com áreas grandes em cada um, tem sido adotada a seguinte solução:

- a) Uma subestação principal de 13,8 kV para 2,3 kV no subsolo, térreo ou onde for mais conveniente. Nesta mesma subestação, um outro transformador de 13,8 kV para 380-220 V ou 220-127 V para atendimento às cargas localizadas próximas à subestação.
- b) Diversas subestações de 2,3 kV/380-220 ou 2,3 kV/220-127 localizadas nos andares, de modo a que cada uma sirva a um ou mais andares.

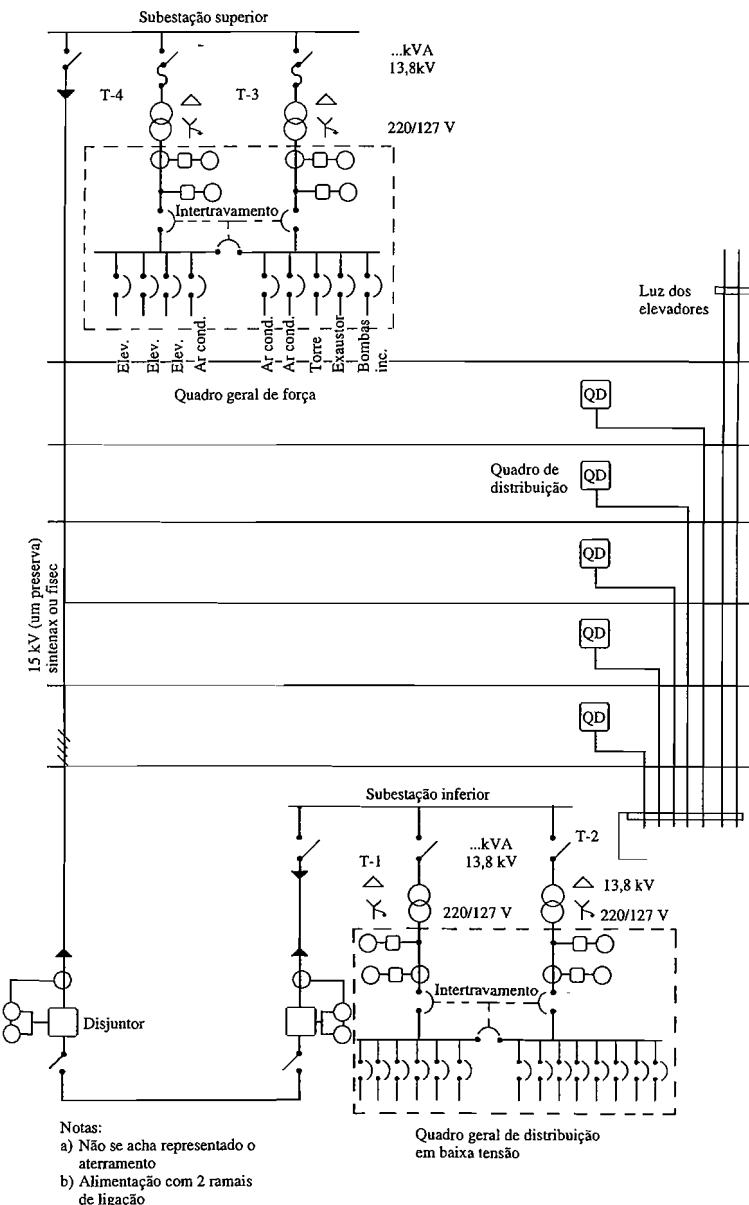


Fig. 13.12 Esquema unifilar de instalação de subestação inferior e outra na cobertura. Diagrama simplificado

Deve-se realizar um estudo para verificar se a economia de custo com a redução na seção dos cabos é superior ao encarecimento com a instalação do transformador e seus dispositivos de proteção, além das áreas eventualmente comercializáveis, e que deverão ser destinadas às subestações nos andares.

Em instalações industriais de vulto, existem cargas elevadas localizadas em pontos diversos da fábrica, tais como motores de grande potência ou agrupamento de motores pertencentes a um mesmo equipamento, fornos, máquinas de solda, caldeiras elétricas etc.

Se as distâncias destas cargas à subestação principal forem grandes, pode ser economicamente interessante instalar próximo a cada um (ou a diversos) destes equipamentos de elevado consumo de energia uma subestação alimentada na mesma tensão da subestação principal ou em tensão mais baixa.

Pode-se projetar a distribuição segundo várias modalidades que já se pode considerar como convencionais. A escolha criteriosa levará em conta, além do custo, a segurança, a flexibilidade de interconexão, a possibilidade de ampliações, a facilidade de controle.

As Figs. 13.13, 13.14 e 13.15 dão uma idéia dos esquemas básicos de algumas alternativas a serem analisadas.

O sistema radial simples (Fig. 13.13) é de baixo investimento inicial, mas, se um cabo na tensão primária for danificado, haverá paralisação em uma ou mais subestações.

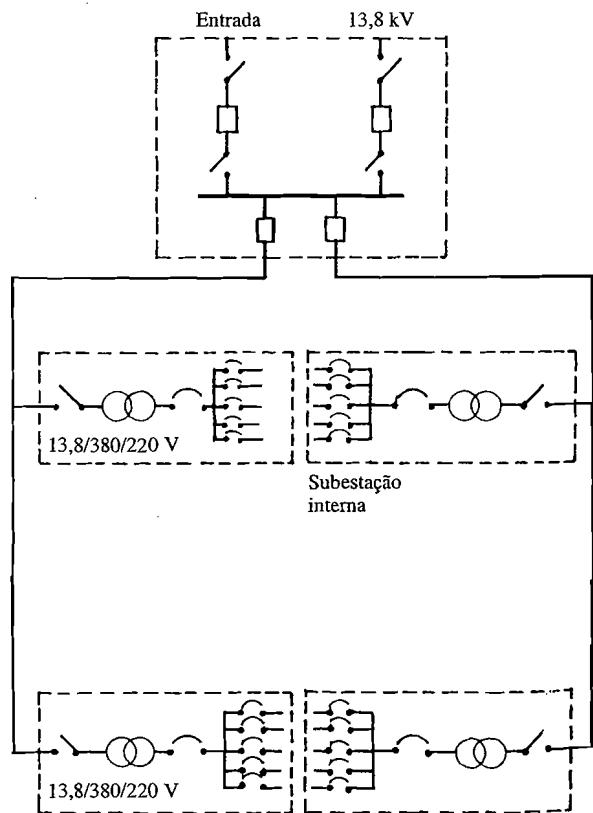


Fig. 13.13 Sistema radial de subestações

É, todavia, muito usado, desde que assegurada a necessária proteção aos cabos primários.

No sistema seletivo em baixa existe uma interconexão (normalmente aberta) entre os secundários de um par de transformadores, o que permite recorrer-se a um transformador quando o outro estiver desenergizado. A operação de conexão em baixa tensão reduz o risco de acidentes em operações (Fig. 13.14).

No sistema de interconexões na baixa tensão (Fig. 13.15), como os secundários dos transformadores operam em paralelo, existe, ainda, maior confiabilidade na operação do sistema, quando um dos transformadores é posto fora de serviço, por alguma razão. Como a energia pode ser transferida de uma subestação a outra, através da ligação pelo secundário, o efeito da diversidade de carga poderá ficar atenuado. Isto, em certos casos, reduz a capacidade exigida dos transformadores.

A ligação em paralelo dos secundários dos transformadores sobrecarrega a tarefa da proteção contra correntes de curto-círcuito, o que exige dos disjuntores maior capacidade de interrupção e, portanto, disjuntores mais dispendiosos.

Além disso, haverá um acréscimo apreciável nos cabos de baixa tensão.

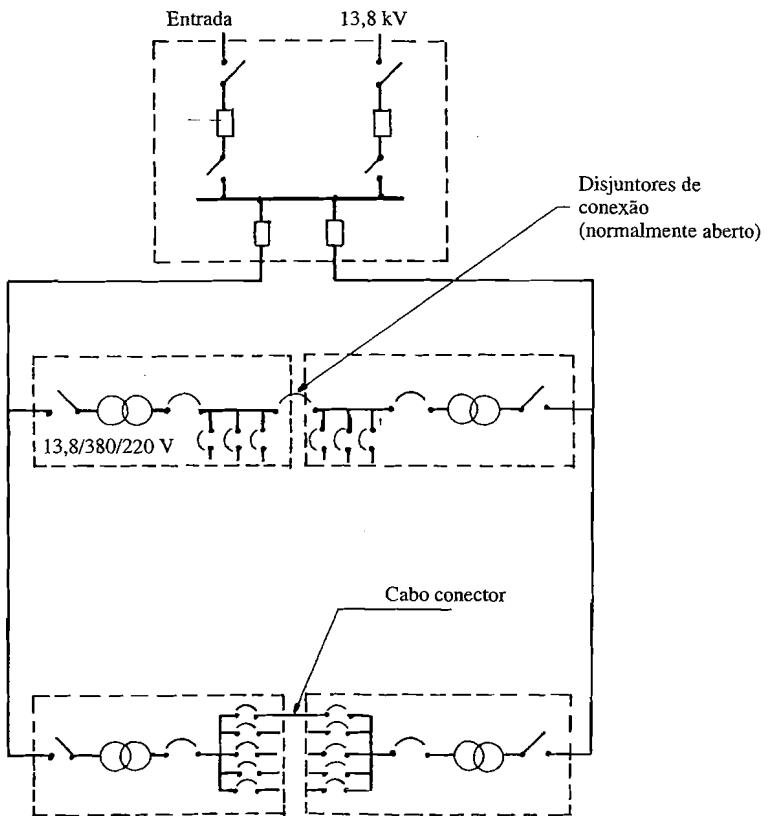


Fig. 13.14 Sistema seletivo na baixa tensão

13.6 PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

A proteção da subestação deve referir-se tanto a falhas que venham a ocorrer nas instalações do consumidor quanto a falhas na rede da concessionária. Por isto, é necessário que se consulte previamente a concessionária quanto à capacidade de interrupção da chave a óleo, disjuntor ou fusível instalado antes do transformador.

Em uma instalação de certa complexidade, ou quando houver interconexão entre subestações na propriedade do consumidor, deve-se proceder à análise do sistema em face de eventuais correntes de curto-círcuito, para a definição da capacidade dos dispositivos de proteção.

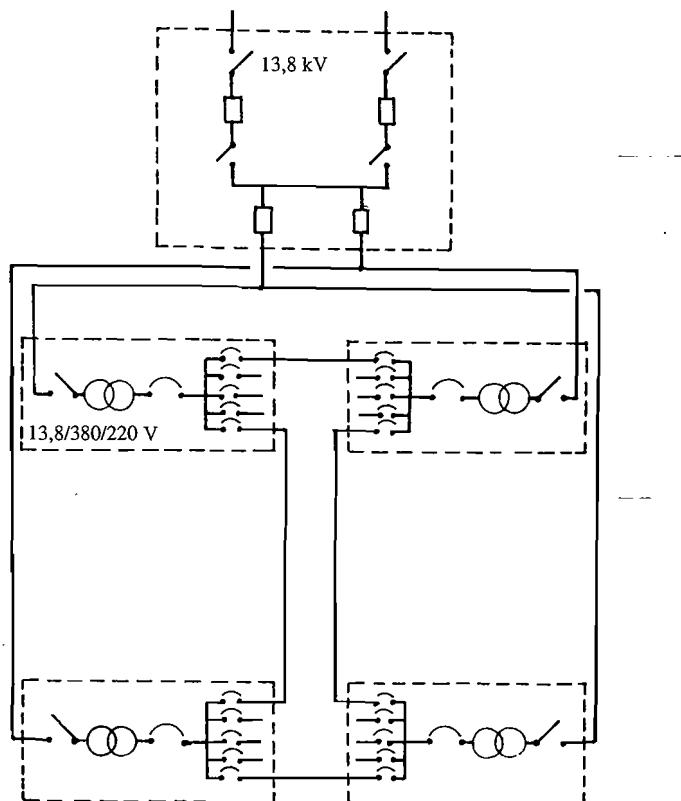


Fig. 13.15 Sistema de distribuição com paralelismo na baixa

Mesmo em indústrias não muito grandes, é comum fazer-se a alimentação dos motores em 480 V para se economizar em condutores e equipamentos de proteção. Neste caso, a iluminação é fluorescente e sob 220 V. Para tomadas e lâmpadas em 127 V, usa-se um ou mais autotransformadores de 440/220/127 V.

13.5 MEDIÇÃO

Os medidores, transformadores de potencial e transformadores de corrente destinados à medição são fornecidos e instalados pela concessionária, que continuará como proprietária dos mesmos, cabendo ao consumidor sua guarda e responsabilidade pela conservação dos selos de segurança.

14 Ramal de Alimentação, Medição de Energia e Prescrições do Corpo de Bombeiros

14.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Para que a empresa concessionária venha a fornecer energia a um prédio, é necessário que o interessado tenha providenciado o projeto, a execução e a aprovação do “local do medidor” ou “local dos medidores” com os respectivos dispositivos de proteção, bem como concluído a parte que lhe compete no que concerne ao ramal da ligação (RL). Vimos, no Cap. 2, as exigências de caráter geral quanto ao ramal de entrada (RE) desde o ponto de entrega (PE) até a caixa seccionadora ou caixa terminal e quais as finalidades das caixas terminais (T), das caixas distribuidoras (D) e das caixas de proteção dos transformadores de corrente (TR). Analisaremos, neste capítulo, as prescrições indispensáveis à elaboração do projeto do chamado *local dos medidores* e ao dimensionamento e às especificações dos elementos constitutivos dos ramais de ligação e de entrada.

É importante notar que cada concessionária tem seus padrões e suas normas próprias, embora fundamentalmente os esquemas básicos e as prescrições, em princípio, sejam os mesmos. Por exemplo, São Paulo utiliza os padrões da Eletropaulo, assim como Minas Gerais segue as recomendações da Cemig. As firmas de projeto ou os projetistas recebem da concessionária um manual de instruções contendo uma coleção completa de tabelas, desenhos e detalhes, com as prescrições para um projeto completo do *local de medidores* e da entrada, em alta ou baixa tensão. Estes manuais, regulamentos e normas são publicações de certo porte, alguns com mais de 200 páginas. Percebe-se, portanto, não ser possível reproduzir integralmente qualquer um destes regulamentos, dada a extensão que teria o desenvolvimento do assunto.

Entretanto, faremos um resumo dos pontos mais importantes do regulamento para suprimento de consumidores da Light — Serviços de Eletricidade S.A. — Setor Rio, uma vez que se trata de publicação apresentada como resultado da larga experiência dessa concessionária.

14.2 SOLICITAÇÃO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA EM TENSÃO SECUNDÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO

Na região servida pela Light — Serviços de Eletricidade S.A., deve ser obedecida a *Regulamentação para Suprimento de Consumidores, com Tensão Secundária de Distribuição — Baixa Tensão*, de agosto de 1987, complementada pela legislação publicada em julho de 1991, “COSCIP & legislação complementar”.*

*Quaisquer que sejam as exigências do projeto, estas devem ser compatíveis com a NBR 5410: Edição 1997/1998.

14.2.1 DADOS FORNECIDOS PELO CONSUMIDOR

A solicitação de fornecimento em tensão secundária de distribuição é designada por *prévia consulta* (PC). Nesta prévia consulta, o solicitante deve fornecer à concessionária:

- *Carta* de acordo com o Modelo 1 apresentado no final deste capítulo, especificando as cargas da instalação consumidora.
- *Plantas* de construção de edificação e planta de situação contendo localização do poste mais próximo do imóvel ou da propriedade, existente na via pública.
- *Formulário OSA* — Ordem de Serviço/Alteração de cadastro — devidamente preenchido e assinado. Este formulário é fornecido pela Light em seus postos de atendimento (Modelo 2, no final deste capítulo).
- *Quadro de cargas*, quando a potência a ser instalada for *inferior* ou *igual* a 12 kW (potência motriz até 5 cv), não haverá necessidade de prévia consulta, desde que:
 - o ponto de entrega se situe no máximo a 50 m do poste da concessionária mais próximo, para *ligações monofásicas*;
 - o ponto de entrega se situe no máximo a 30 m do poste da concessionária mais próximo, para *ligações bifásicas e trifásicas*.

Bastará, nestes casos, ao próprio interessado preencher, na agência da Light mais próxima do prédio a ser ligado, o formulário OSA. A concessionária fornecerá folhetos contendo projetos-tipo já previamente aprovados. Esses modelos de requerimento mudam com freqüência, pois são emitidos de acordo com a concessionária. É, portanto, indispensável consultá-la sobre a validade dos modelos e procedimentos que apresentamos quando o usuário for requerer uma ligação para o seu empreendimento.

Caso o prédio se localize em zona de futura distribuição subterrânea, deverá ser prevista linha de dutos na entrada consumidora para possibilitar a futura ligação subterrânea, conforme especificações da concessionária.

14.2.2 DADOS FORNECIDOS PELA CONCESSIONÁRIA

Após os estudos preliminares, a concessionária fornecerá ao consumidor os seguintes elementos essenciais à elaboração do projeto da entrada de serviço:

- Condições estabelecidas para atender à ligação.
- Tensão de fornecimento.
- Tipo de atendimento.
- Níveis de curto-círcuito (quando necessários ao dimensionamento dos componentes).

14.2.3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ENTRADA DE SERVIÇO

Houve profunda simplificação nos pedidos de ligação à rede. O roteiro abaixo depende de cada concessionária, sobretudo após a privatização. O texto que se segue adota um padrão convencional, sujeito a modificações em cada região do país.

Para ligação ou desmembramento de qualquer instalação será exigida a apresentação, por parte do consumidor, do projeto da *entrada de serviço*, exceto quando se tratar de:

- Ligação de entradas individuais supridas a 230/115 V.
- Ligação de entradas individuais supridas a 220/127 V com demanda de até 132,2 kVA que não exijam a construção de câmara subterrânea na propriedade particular.
- Ligação de entradas coletivas com demanda de até 132,2 kVA destinadas ao suprimento de, no máximo, seis unidades de consumo, cada qual com demanda inferior ou igual a 33 kVA e que não exijam a construção de câmara subterrânea na propriedade particular.

Os medidores deverão sempre que possível ser agrupados, e sua localização deverá ser indicada no verso do formulário OSA, conforme Modelo 2 — apresentado no final deste capítulo.

A concessionária estabelece as seguintes exigências quanto ao *projeto* que é de responsabilidade do usuário.

- As plantas deverão ter 110 cm × 70 cm, no máximo, e nelas deverão constar, pelo menos:

Quadro de cargas/cálculos de demanda.

Diagrama unifilar.

Planta de situação.

Planta baixa e cortes da edificação (inclusive dos trechos onde houver instalação de corrente não medida).

Detalhes das caixas de passagem.

Detalhes do centro de medição e respectivos quadros.

Detalhes da caixa seccionadora, quando houver.

14.3 NORMAS PARA A APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE INSTALAÇÕES

Vimos no Cap. 2 as características gerais dos ramais de ligação e de entrada e, no item 2.4.1, o número de fases do ramal conforme a carga. Vejamos agora as prescrições que deverão nortear a execução do projeto, caso o ramal de ligação seja aéreo, subterrâneo ou misto, isto é, subterrâneo a partir de poste instalado na propriedade particular.

14.3.1 RAMAIS DE LIGAÇÃO (RL)

14.3.1.1 Ramal de Ligação Aéreo

É o trecho que vai do poste até o *ponto de entrega* (PE).

a) Condições gerais

- Sendo aéreo o sistema de distribuição local, o ramal de ligação deverá ser do tipo aéreo até o limite máximo de demanda de 132,2 kVA (220/127 V) em entradas individuais e 136,8 kVA em entradas coletivas.
- Ficará a cargo da concessionária fornecer e instalar os condutores do ramal de ligação, sem ônus para o consumidor, até a distância máxima de 10 (dez) metros do limite da propriedade. Este limite deve ser observado, mesmo que haja poste particular para elevar a altura dos condutores ou desviá-los de terreno de terceiros.
- Caberá ao consumidor fornecer e instalar, em sua propriedade, os equipamentos necessários e adequados para receber o ramal de ligação.
- O comprimento do ramal de ligação não deverá exceder de:
30 metros para ligações bifásicas e trifásicas;
50 metros para ligações monofásicas.

b) Afastamentos

- O poste particular deverá ser localizado a uma distância máxima de 1,50 m do limite da propriedade com a via pública.
- Os condutores do ramal de ligação deverão obedecer às seguintes condições mínimas de afastamento:
0,60 m entre circuitos de baixa tensão e circuitos de telefonia, sinalização e congeladores;
1,20 m quando passar *vis-à-vis* a janelas, sacadas, saídas de incêndio, terraços ou locais análogos;
2,50 m acima do piso de sacadas, terraços ou varandas;
0,50 m abaixo do piso de sacadas, terraços ou varandas;

5,50 m do piso acabado, na passagem de veículos (travessia de logradouros);
4,50 m do piso acabado, na passagem de veículos (entradas particulares);
3,50 m do piso acabado, na passagem de pedestres;
3,00 m do piso acabado, na saída de eletroduto.

14.3.1.2 Ramal de Ligação Subterrâneo

a) Condições gerais

- Poderão ser supridos pelo ramal de ligação subterrâneo os prédios que: estiverem localizados em zonas de distribuição subterrânea; estiverem localizados em zonas de distribuição aérea e possuírem demanda em 220/127 V superior a 132,2 kVA, em entradas individuais, e 136,8 kVA em entradas coletivas.

- *Encargos da concessionária*: fornecer e instalar os condutores do ramal de ligação subterrâneo externo e interno, até o primeiro ponto de conexão na propriedade particular, que poderá ser, conforme o caso:

barra desligadora;

chave de faca;

caixa terminal;

cabine seccionadora;

caixa de distribuição.

- *Encargos do consumidor*

Pagar os custos dos condutores relativos à parte interna de sua propriedade.

Construir a linha de dutos e caixas de passagem e a instalação dos condutores a partir do primeiro ponto de conexão na sua propriedade.

b) Equipamentos

- A partir do limite de propriedade com a via pública, deverá ser construída linha de dutos de PVC com o diâmetro interno mínimo de 4". Os dutos deverão ser assentados em base de concreto, convenientemente vedados nas juntas e dispositos em aço até a caixa de passagem sob a caixa terminal, caixa seccionadora e/ou da distribuição, barra desligadora ou chave de faca.
- Sob as caixas terminais, seccionadoras e de distribuição, e nos pontos de mudança de divisão da linha de dutos, deverão ser construídas caixas de passagem em concreto ou alvenaria, revestidas com argamassa, impermeabilizadas com tampa de concreto convenientemente calafetada.
- As caixas de passagem e linhas de dutos deverão ser construídas obrigatoriamente em locais de serventia comum. Por exceção, quando for imperiosa a construção de dutos em local privativo, deverão ser previstas linhas reservas de dutos.
- Os dutos, ao penetrarem em compartimentos isolados, no subsolo de edificações, deverão ser interrompidos e embuchados do lado interno, de modo a evitar a penetração de água e de pequenos animais. Não sendo o compartimento selado, será exigida caixa de passagem para tal finalidade.

c) Afastamentos

- As linhas de dutos e caixas de passagem deverão passar a uma profundidade de 0,50 m com relação ao nível do solo e ser protegidas adequadamente, quando instaladas em locais sujeitos a tráfego de veículos.
- As caixas de passagem deverão ter as seguintes dimensões mínimas:
(0,60 × 0,60 × 0,60) m³, para um conjunto de cabos;
(0,80 × 0,80 × 0,80) m³, para dois conjuntos de cabos.

14.3.2 RAMAL DE ENTRADA

O ramal de entrada que vai do *ponto de entrega* ao *local do medidor* poderá ser do tipo aéreo ou subterrâneo, dependendo da demanda calculada (Cap. 3, item 3.9) e da

Tabela 14.1 Dimensionamento de entradas individuais trifásicas — 220/127 V

Demanda da instalação (kVA)	Limite de potência instalada em (kVA) (7) (8)									Caixa terminal	Corrente nominal (A)	
	Elos fusíveis			Base fusíveis			Ligaçāo subterrānea					
	Caixa para TCs de medição			Ligaçāo aérea			T-1			T-2		
D ≤ 10,0 (9)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	300	400
D ≤ 13,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	500	600
13,2 < D ≤ 23,2	2	5	20	—	—	—	—	—	—	600	600	2 × 400
23,2 < D ≤ 33,0	3	7,5	25	—	—	—	—	—	—	2 × 400	2 × 500	2 × 600
33,0 < D ≤ 41,0	5	7,5	30	—	—	—	—	—	—	2 × 600	2 × 600	2 × 600
41,0 < D ≤ 49,4	7,5	10	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49,4 < D ≤ 57,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
57,8 < D ≤ 66,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
66,1 < D ≤ 74,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
74,5 < D ≤ 82,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
82,5 < D ≤ 98,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
98,8 < D ≤ 115,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
115,5 < D ≤ 132,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
132,2 < D ≤ 165,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
165,3 < D ≤ 198,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
198,4 < D ≤ 231,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
231,4 < D ≤ 264,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

As notas referentes a esta tabela encontram-se na Tabela 14.2.

Demanda da instalação (kVA)	Limite de potência instalada em (kVA) (7) (8)									Caixa terminal	Corrente nominal (A)	
	Elos fusíveis			Base fusíveis			Ligaçāo subterrānea					
	Caixa para TCs de medição			Ligaçāo aérea			T-1			T-2		
D ≤ 17,3 (9)	1,5	3	7,5	—	—	—	—	—	—	200	300	400
D ≤ 22,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	500	600
22,9 < D ≤ 40,2	3	7,5	30	—	—	—	—	—	—	2 × 400	2 × 400	2 × 400
40,2 < D ≤ 57,0	5	10	40	—	—	—	—	—	—	2 × 600	2 × 500	2 × 600
57,0 < D ≤ 71,0	7,5	10	50	—	—	—	—	—	—	2 × 600	2 × 600	2 × 600
71,0 < D ≤ 85,6	10	15	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
85,6 < D ≤ 100,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100,1 < D ≤ 114,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
114,5 < D ≤ 129,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
129,5 < D ≤ 142,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
142,9 < D ≤ 171,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
171,1 < D ≤ 200,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200,1 < D ≤ 229,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
229,0 < D ≤ 286,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
286,1 < D ≤ 343,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
343,3 < D ≤ 400,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400,8 < D ≤ 458,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Notas referentes às Tabelas 14.1 e 14.2:

- Os condutores indicados nesta coluna serão, também, adequados à ligação dos transformadores de corrente.
- O ramal de entrada será obrigatoriamente subterrâneo quando do atendimento a demandas superiores a 132,2 kVA (em 220/127 V) ou 229,0 kVA.
- O dimensionamento dos condutores de ramais de entrada subterrâneos será feito com base nas Tabelas 14.10 e 14.11.
- Nas instalações com demandas superiores a 198,4 kVA (220/127 V) e 343,3 kVA (380/220 V), serão exigidas barras para a ligação dos transformadores de corrente, dimensionadas conforme Tabela 14.7.
- Para consumidores com demanda até 33,0 kVA, supridos em 220/127 V, poderá ser usada, alternativamente ao quadro do medidor, a caixa de medição.
- Deverá ser previsto dispositivo que permita partida sob tensão reduzida para motores trifásicos com potência superior a 5 cv em sistema 220/127 V, e 7,5 cv, em sistema 380/220 V.
- Os limites estabelecidos para cargas fase-neutro, 2 fases e 3 fases não são cumulativos.
- A ligação de aparelhos com potências superiores às estabelecidas dependerá da elaboração de estudos especiais pela concessionária, para cada caso.
- Categoria de uso opcional, recomendada para o atendimento de consumidores que não utilizem equipamentos elétricos para armazenamento de energia.

Tabela 14.3 Dimensionamento de entradas coletivas trifásicas — 220/127 V

Demanda da instalação (kVA)	Ramal de entrada PVC 70°C (mm²)	Proteção corrente nominal (A)	
		Base fusível	Elo fusível
D ≤ 8,8	4 (1 × 10)	60	60
8,8 < D ≤ 22,1	4 (1 × 25)	100	100
22,1 < D ≤ 30,4	4 (1 × 35)		150
30,4 < D ≤ 41,4	4 (1 × 50)	200	
41,4 < D ≤ 60,0	4 (1 × 70)		200
60,0 < D ≤ 78,6	4 (1 × 95)		
78,6 < D ≤ 90,8	4 (1 × 120)	300	
90,8 < D ≤ 113,0	8 (1 × 70)		400
113,0 < D ≤ 136,8	8 (1 × 95)	500	
136,8 < D ≤ 158,0	8 (1 × 120)	600	
158,0 < D ≤ 202,7	(1)	2 × 400	2 × 400
202,7 < D ≤ 253,3	(2)	2 × 600	2 × 500
253,3 < D ≤ 304,0			2 × 600

Notas:

- 1) Os ramais de entrada serão obrigatoriamente subterrâneos quando do atendimento a demandas superiores a 158,0 kVA.
- 2) O dimensionamento dos condutores de ramais de entrada subterrâneos será feito com base nas Tabelas 14.10 e 14.11.
- 3) Esta tabela é, também, adequada ao dimensionamento dos diversos trechos de ramais de entradas coletivas, em função das respectivas demandas, calculadas conforme o item 3.9.2 (Cap. 3).

Tabela 14.4 Dimensionamento de entradas coletivas trifásicas — 380/220 V

Demanda da instalação (kVA)	Ramal de entrada PVC 70°C (mm²)	Proteção corrente nominal (A)	
		Base fusível	Elo fusível
D ≤ 15,2	5 (1 × 10)	60	60
15,2 < D ≤ 38,2	5 (1 × 25)	100	100
38,2 < D ≤ 52,6	5 (1 × 35)		150
52,6 < D ≤ 71,7	5 (1 × 50)	200	
71,7 < D ≤ 104,0	5 (1 × 70)		200
104,0 < D ≤ 136,1	5 (1 × 95)		300
136,1 < D ≤ 157,2	5 (1 × 120)		400
157,2 < D ≤ 195,7	10 (1 × 70)		500
195,7 < D ≤ 236,9	10 (1 × 95)	600	
236,9 < D ≤ 273,7	10 (1 × 120)		600
273,7 < D ≤ 351,1	(1)	2 × 400	2 × 400
351,1 < D ≤ 438,7	(2)	2 × 600	2 × 500
438,7 < D ≤ 526,5			2 × 600

Notas:

- 1) Serão obrigatoriamente subterrâneos os ramais gerais de entrada (para todas as categorias de atendimento) e os ramais internos (a partir de 273,7 kVA).
- 2) O dimensionamento dos condutores de ramais de entrada subterrâneos será feito com base nas Tabelas 14.10 e 14.11.
- 3) Esta tabela é, também, adequada ao dimensionamento dos diversos trechos de ramais de entradas coletivas, em função das respectivas demandas, calculadas conforme o item 3.9.2 (Cap. 3).

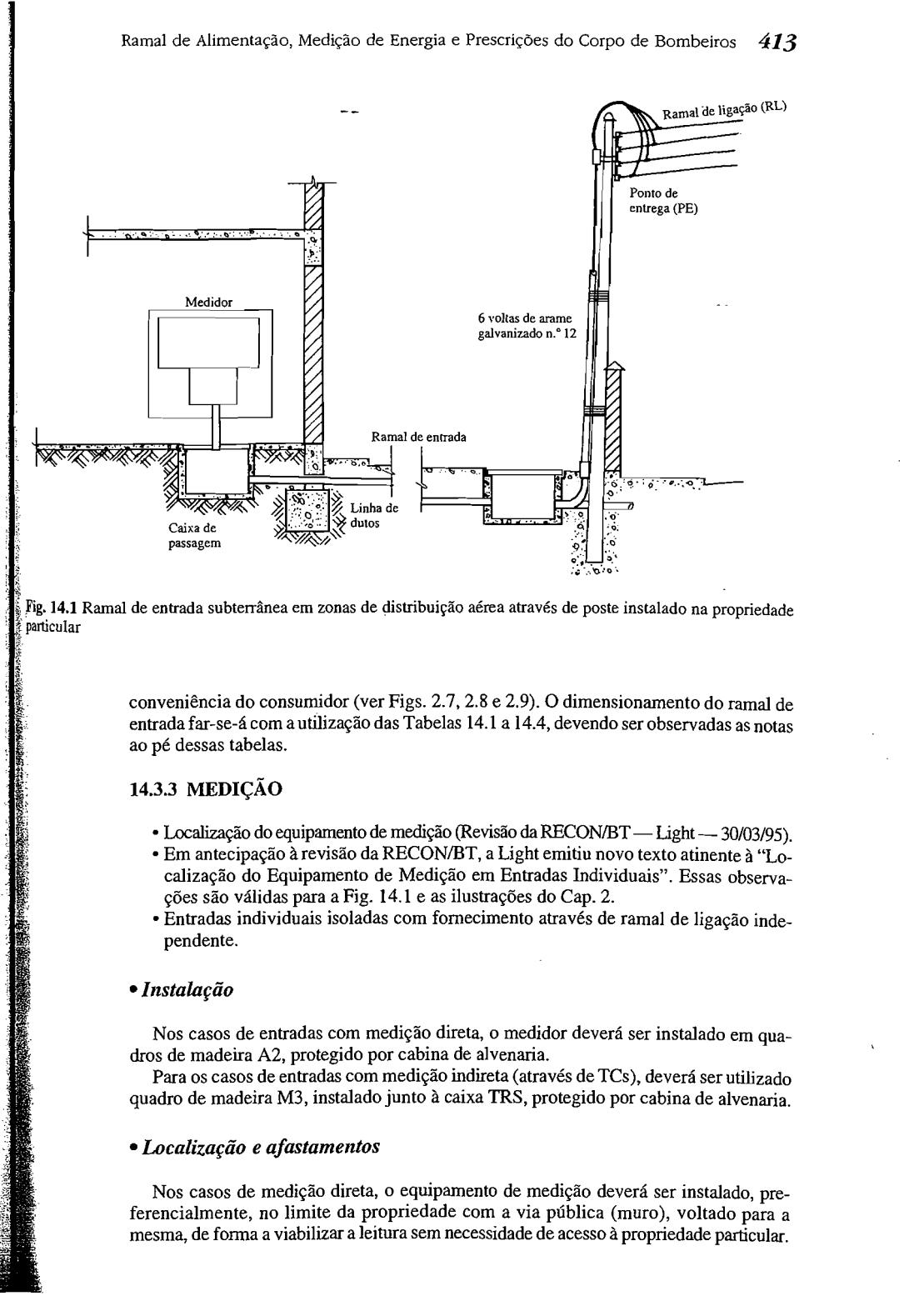


Fig. 14.1 Ramal de entrada subterrânea em zonas de distribuição aérea através de poste instalado na propriedade particular

conveniência do consumidor (ver Figs. 2.7, 2.8 e 2.9). O dimensionamento do ramal de entrada far-se-á com a utilização das Tabelas 14.1 a 14.4, devendo ser observadas as notas ao pé dessas tabelas.

14.3.3 MEDAÇÃO

- Localização do equipamento de medição (Revisão da RECON/BT — Light — 30/03/95).
- Em antecipação à revisão da RECON/BT, a Light emitiu novo texto atinente à “Localização do Equipamento de Medição em Entradas Individuais”. Essas observações são válidas para a Fig. 14.1 e as ilustrações do Cap. 2.
- Entradas individuais isoladas com fornecimento através de ramal de ligação independente.

• Instalação

Nos casos de entradas com medição direta, o medidor deverá ser instalado em quadros de madeira A2, protegido por cabina de alvenaria.

Para os casos de entradas com medição indireta (através de TCs), deverá ser utilizado quadro de madeira M3, instalado junto à caixa TRS, protegido por cabina de alvenaria.

• Localização e afastamentos

Nos casos de medição direta, o equipamento de medição deverá ser instalado, preferencialmente, no limite da propriedade com a via pública (muro), voltado para a mesma, de forma a viabilizar a leitura sem necessidade de acesso à propriedade particular.

Quando não for possível sua instalação no limite da propriedade, este poderá ser instalado com afastamento máximo de 6,0 m desse limite, voltado para a via pública.

Sempre que for empregado poste particular para desviar os condutores do ramal de ligação do terreno de terceiros, o equipamento de medição deverá ser instalado junto a este poste, no limite da propriedade, voltado para a via pública.

Sendo utilizado sistema de medição indireta (através de TCs), o conjunto que compõe o sistema (caixa TRS, quadro M3 etc.) deverá ser instalado na parte interna da propriedade, junto ao limite com a via pública, ou, quando essa condição não for possível, com um afastamento máximo de 6,0 m desse limite.

14.3.4 PROTEÇÃO DO RAMAL DE ENTRADA

Devem ser instalados dispositivos de proteção contra sobrecorrente e sobrecarga em todos os condutores do ramal de entrada e não ligados à terra.

Estes dispositivos deverão ser compatíveis com o nível de curto-círcuito disponível no ponto de instalação, como indicado na Tabela 14.5.

14.3.4.1 Entradas Individuais

Deverão ser empregados fusíveis tipo cartucho e/ou disjuntores termomagnéticos, conforme prescrito a seguir:

Tabela 14.5 Capacidade mínima de interrupção simétrica dos disjuntores de proteção geral das entradas de serviço

Condutor do ramal de entrada (mm ²) (1)	Sistema de suprimento				
	Aéreo				
	Radial	Radial	Network	Spot-Network	Radial seletivo
6					
10					
25	5 kA	10 kA	15 kA	(2)	(2)
35					
50	10 kA	15 kA	25 kA		
70					
95		20 kA	30 kA		
120			40 kA		
2 × 70			100 kA		
2 × 95		25 kA			
Maiores bitolas	25 kA	(2)	(3)		

Notas:

- 1) Valores relativos a um conjunto de cabos, salvo quando indicado.
- 2) Os níveis de curto-círcuito serão fornecidos pela concessionária para cada caso, devendo a capacidade de interrupção dos disjuntores ser compatível com o maior dos valores de curto-círcuito disponíveis nos respectivos pontos de instalação.
- 3) Sendo a demanda de instalação superior a 132,2 kVA (nos casos de entradas individuais) e 136,8 kVA (nos casos de entradas coletivas), o nível de curto-círcuito será fornecido pela concessionária, para cada caso, devendo a capacidade de interrupção do disjuntor ser compatível com esse valor, e nunca inferior a 100 kA.
- 4) Havendo previsão para conversão do sistema de suprimento existente (áereo para subterrâneo ou subterrâneo radial para network), os disjuntores deverão ser dimensionados para a futura situação.
- 5) Será aceito o emprego de conjuntos fusível limitador × disjuntor em substituição a disjuntores de elevada capacidade de interrupção, sendo, nestes casos, de inteira responsabilidade da projetista a coordenação seletiva desses equipamentos.
- 6) Dependendo da capacidade de interrupção do disjuntor, mesmo nas pequenas ligações, poderá vir a ser inviabilizada sua instalação no Quadro A2. Nesses casos, o medidor deverá ser instalado em Quadro A1 e o disjuntor em quadro adicional, com dimensões compatíveis.

- a) Tipos de atendimento monofásico, bifásico e trifásico; demanda calculada até 33,0 kVA (220/127 V) ou 57,0 kVA (380/220 V). Deverá ser instalado disjuntor termomagnético após o equipamento de medição.
- b) Demanda calculada entre 33,0 kVA e 264,5 kVA (220/127 V) ou entre 57,0 kVA e 458,1 kVA (380/220 V). Deverão ser instalados fusíveis antes do equipamento de medição e disjuntor termomagnético após o equipamento de medição.
- c) Demanda calculada acima de 264,5 kVA (220/127 V) ou 458,1 kVA (380/220 V). Deverá ser instalado disjuntor automático antes do equipamento de medição, atendendo aos seguintes requisitos:
 - Possuir dispositivo normal para desligamento e religação.
 - Possuir capacidade de interrupção compatível com o nível de curto-círcuito máximo previsto para o local de instalação.
 - Possuir nos terminais de entrada chave de faca ou barras desligadoras (até 2.000 A) de modo a facilitar as operações de manutenção.
 - Possuir elemento instantâneo regulável que permita seu ajustamento para 225% de sua corrente nominal. O consumidor deverá apresentar certificado de garantia de calibração, assim como as características elétricas do referido disjuntor, através de catálogo do fabricante.
 - A corrente nominal não deverá ser inferior a 115% da demanda, em ampères, avaliada.
 - Ser instalado em compartimento de alvenaria com porta e dispositivo para selagem, no pavimento de acesso e a no máximo 5 m da porta de entrada. Será aceita, no entanto, sua instalação no primeiro subsolo ou no primeiro mezanino, desde que o comprimento do ramal de entrada no interior da edificação não exceda a 10 m. Deverá ser previsto, neste caso, dispositivo de comando a distância, instalado próximo à porta de entrada do pavimento de acesso.

Nota: O compartimento deverá ter pé-direito mínimo de 2,50 m, ventilação natural ou forçada, iluminação artificial e estar localizado em áreas de serventia comum. Não será permitida sua utilização para outras finalidades.

Nas Figs. 14.2a e 14.2b vemos exemplos de projetos de entradas de serviço.

14.3.4.2 Entradas Coletivas

Deverão ser empregados fusíveis ou disjuntor automático para proteção geral, conforme prescrito a seguir:

- a) *Demandada calculada até 304 kVA (220/127 V) ou 526,5 kVA (380/220 V)*
Deverão ser empregados fusíveis em caixa de distribuição ou seccionadora, para proteção geral do ramal.
- b) *Demandada calculada acima de 304 kVA (220/127 V) ou 526,5 kVA (380/220 V)*
Deverá ser empregado disjuntor automático para proteção geral do ramal, atendendo aos mesmos requisitos da alínea "c" do item 14.3.4.1.

Para demanda calculada acima de 991 kVA (220/127 V) ou 1.717 kVA (380/220 V) (disjuntor de 3.000 A), a instalação poderá ser dividida em dois ou mais circuitos. Nestes casos, a proteção de cada circuito deverá ser feita com disjuntor independente, de 1.000 A, no mínimo.

Instalações com corrente de demanda acima de 6.000 A serão objeto de estudos especiais.

Quando houver dois ou mais agrupamentos de medidores, além da proteção geral, deverá ser prevista proteção para cada agrupamento, através de fusíveis.

14.3.4.3 Redes Particulares de Vilas ou Conjuntos Residenciais

Deverá ser empregada proteção geral instalada em caixa seccionadora ou caixa de distribuição (Fig. 14.3).

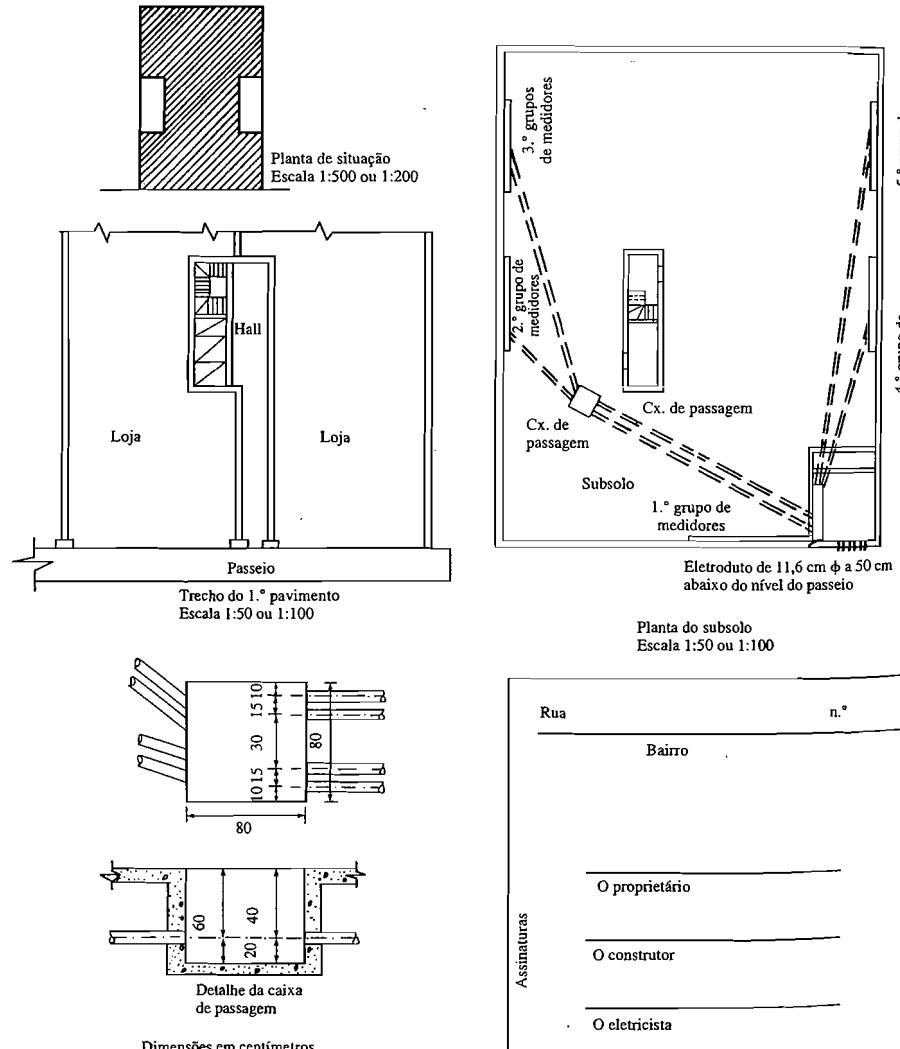


Fig. 14.2a Exemplo de projeto de entrada de serviço (ramal de ligação e ramal de entrada)

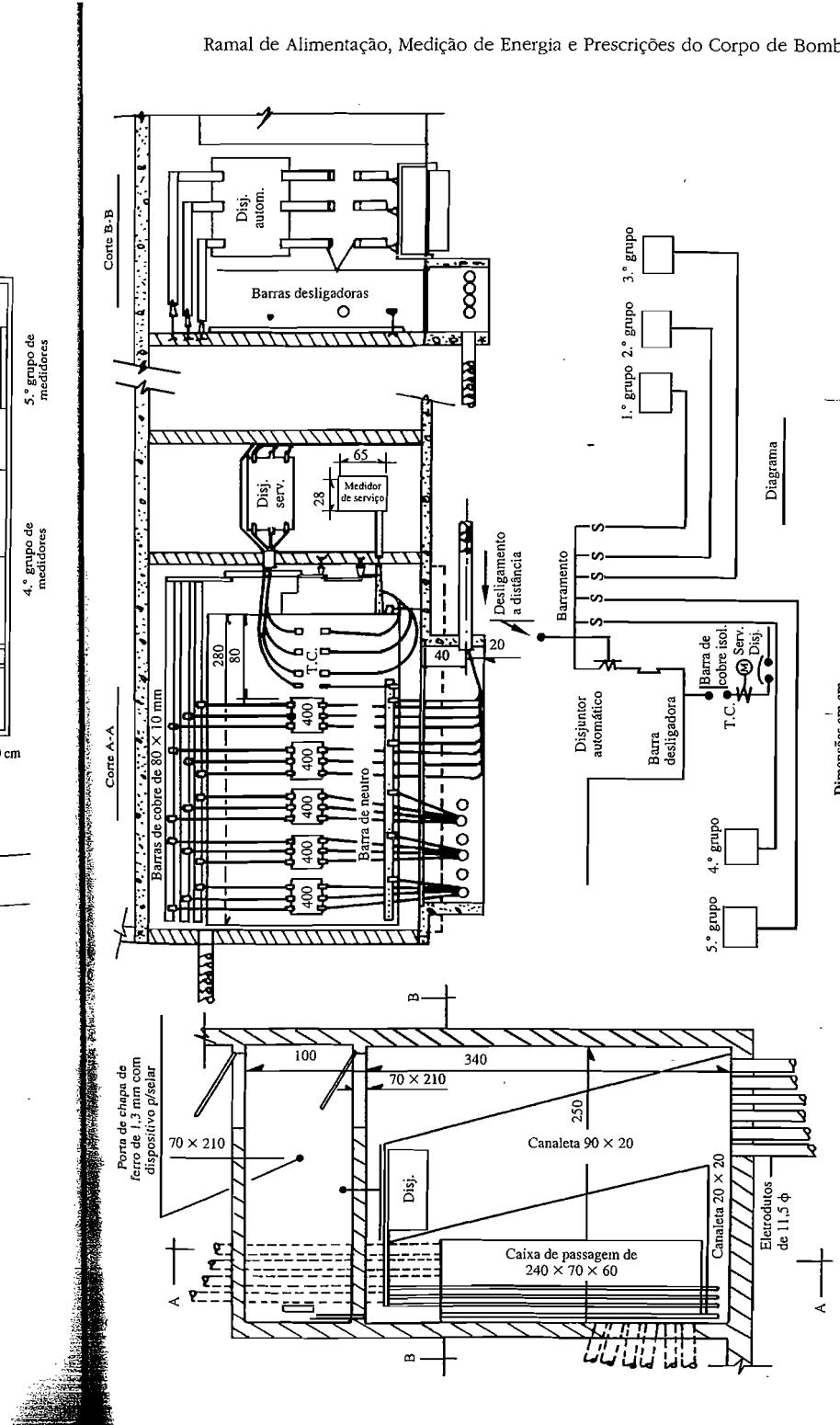


Fig. 14.2b Exemplo de projeto de entrada de serviço (entrada coletiva).

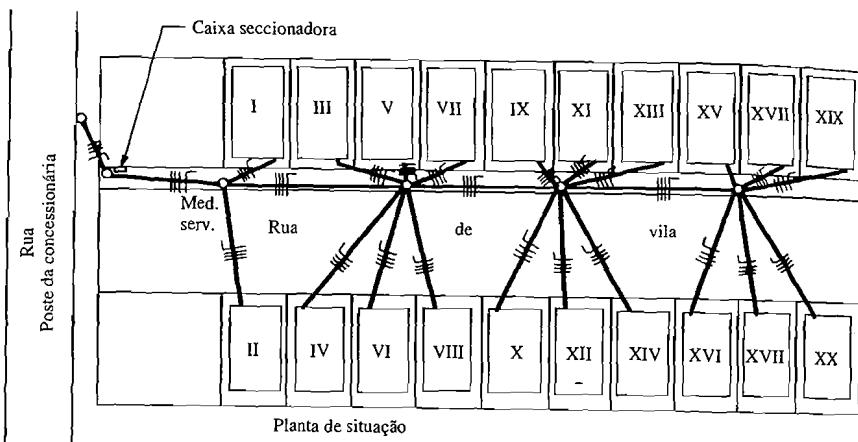


Fig. 14.3 Exemplo de projeto de entrada de serviço (vila)

14.3.4.4 Proteção de Arco à Terra em Consumidores Supridos em 380/220 V

- Deverá ser prevista a instalação de dispositivo de proteção contra arco à terra em cada uma das derivações do barramento de baixa tensão.
- O instalador deverá executar de acordo com diagrama unifilar geral desse sistema de proteção, contendo, inclusive, as especificações dos equipamentos utilizados. Este diagrama deverá ser acompanhado de uma descrição do funcionamento do sistema e da seqüência de manobras a serem efetivadas quando se operar essa proteção.
- O instalador deverá fornecer à administração do prédio uma cópia desse mesmo diagrama, visando a subsidiar a execução de eventuais manobras.

14.3.5 CAIXAS

Temos a considerar as caixas terminais (T), as de distribuição (D), as seccionadoras (S) e as de transformadores de corrente (TR).

14.3.5.1 Caixa Terminal (T)

Tem por finalidade a interligação dos condutores do medidor com os do ramal de entrada e conter, quando necessário, a proteção do ramal de um único medidor.

a) Ligações aéreas

Deverá ser empregada em ligações aéreas para um único medidor, quando a carga exigir disjuntor acima de 100 ampères ou fusíveis NH superiores a 63 ampères.

b) Ligações subterrâneas

Deverá ser empregada em todas as ligações individuais subterrâneas.

c) Tipos e utilização

Serão empregados quatro tipos de caixa terminal (Figs. 14.4 e 14.5).

• Tipo T2 — (410 × 460) mm

Ligações subterrâneas para um único medidor que exijam disjuntor até 100 ampères (Fig. 14.4), ou fusíveis NH até 63 A.

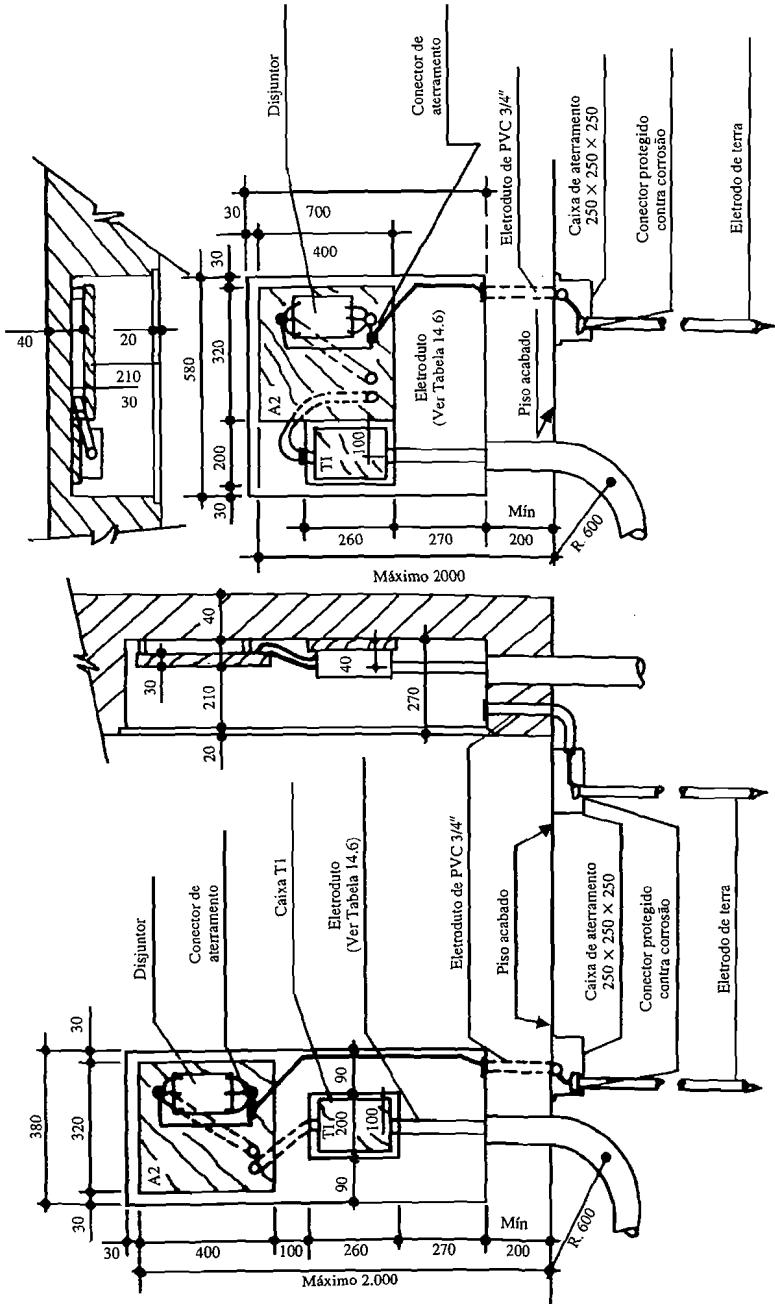


Fig. 14.4 Cabina individual para medidor mono, bi ou trifásico com Quadro A2

• **Tipo T3** — (460 × 660) mm

Para ligações, com um único medidor, que exijam fusíveis antes da medição, de 200 a 400 A (com disjuntor após a medição), ou fusíveis de 150 a 200 A (com fusíveis NH após a medição).

• **Tipo T5** — (760 × 1.200) mm

Para ligações, com um único medidor, que exijam fusíveis, antes da medição, de 400 a 600 A (com disjuntor após a medição), ou fusíveis de 300 a 400 A (com fusíveis NH após a medição).

d) **Proteção mecânica**

A caixa terminal (T) deverá ser protegida por meio de cabina de alvenaria com portas providas de abertura para ventilação. Quando instalada em local privativo, não sujeito a intempéries, poderá ser dispensada a cabina de proteção.

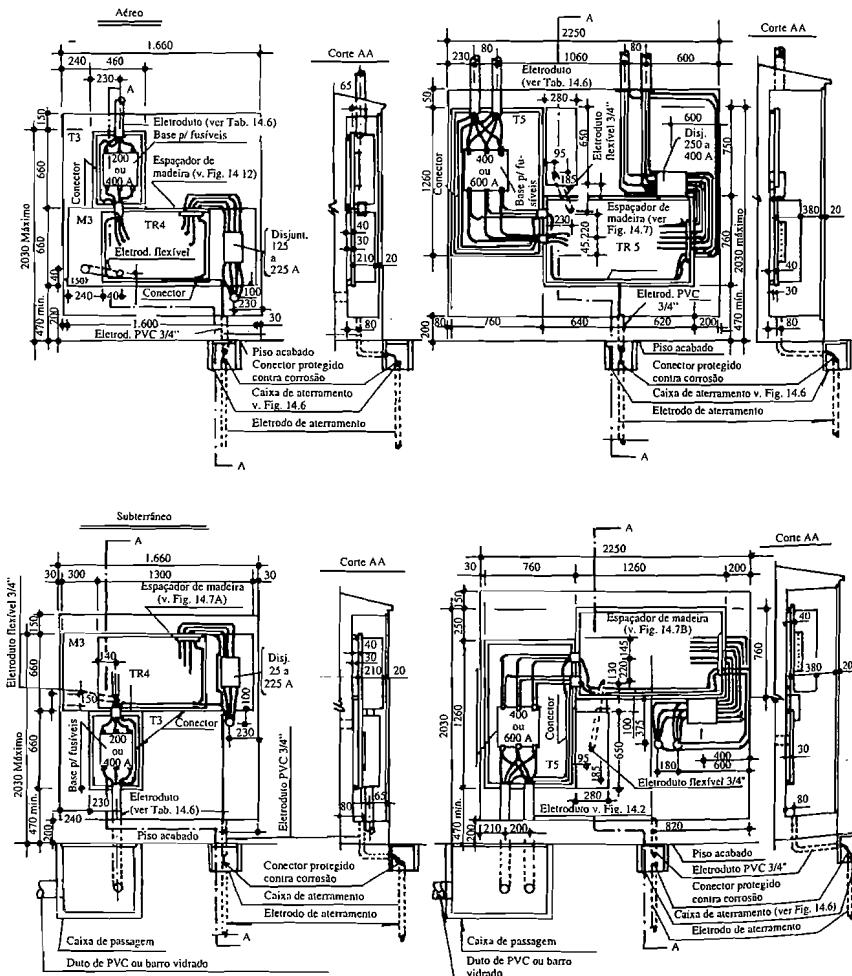


Fig. 14.5 Cabinas individuais para medidor trifásico com quadro M3 e caixas terminais T3 e T5 e caixas de transformador de corrente TR4 e TR5

Tabela 14.6 Bitola mínima de eletrodutos para instalação de condutores singelos isolados com PVC 70°C

Seção do condutor mm ²	PVC rígido-tipo rosqueável-classe A		Metálico rígido ou flexível	
	4 Condutores no eletroduto	5 Condutores no eletroduto	4 Condutores no eletroduto	5 Condutores no eletroduto
6	25	3/4"	25	3/4"
10	25	3/4"	32	1"
16	32	1"	32	1" 34 1"
25	40	1 1/4"	40	1 1/4" 42 1 1/4"
35	40	1 1/4"	50	1 1/2" 42 1 1/4" 48 1 1/2"
50	50	1 1/2"	60	2" 48 1 1/2" 60 2"
70	60	2"	60	2" 60 2"
95	75	2 1/2"	75	2 1/2" 60 2" 76 2 1/2"
120	75	2 1/2"	75	2 1/2" 76 2 1/2" 76 2 1/2"
150	75	2 1/2"	85	3" 76 2 1/2" 89 3"
185	85	3"	*	4" 89 3" 89 3"
240	*	4"	*	4" 89 3" 102 3 1/2"

* Valor não-normalizado.

Notas:

- 1) A bitola mínima de eletroduto rígido de PVC ou metálico para trechos comuns de ligações coletivas deverá ser 1".
- 2) A bitola mínima de eletroduto contendo 2 ou 3 condutores singelos de seções 6 ou 10 mm² deverá ser a mesma que a indicada nesta tabela para 4 condutores com o mesmo tipo de isolamento.
- 3) Nos casos de instalações situadas em zonas marítimas, deverá ser utilizado somente eletroduto rígido de PVC.
- 4) As curvas e emendas deverão obedecer às prescrições contidas na NBR 5410/97.

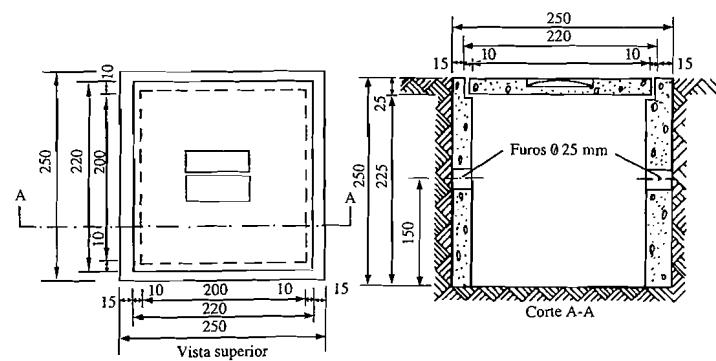


Fig. 14.6 Caixa de aterramento, conforme vista na Fig. 14.5

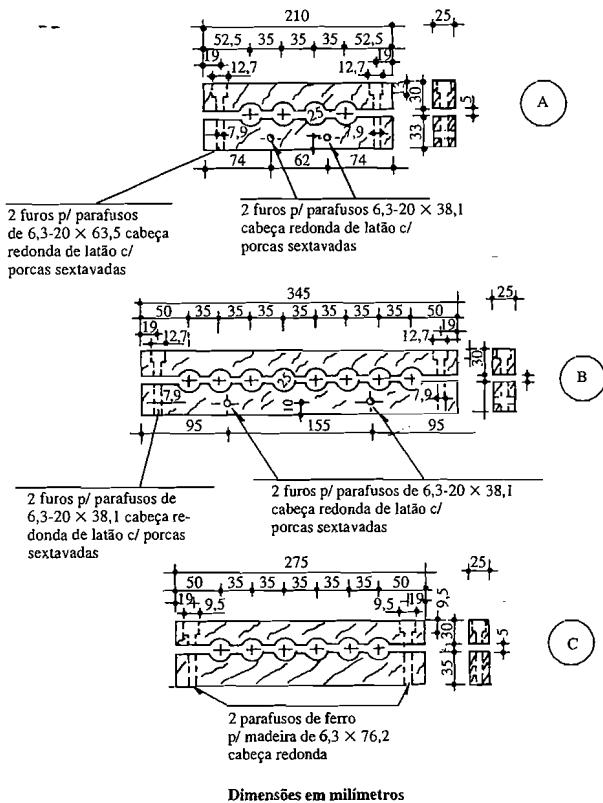


Fig. 14.7 Espaçadores de madeira para caixa de transformador de corrente (TR), conforme se vê indicado na Fig. 14.5

e) Localização

Nos casos de ligações individuais, a caixa terminal deverá ser instalada em local de fácil acesso, a 5,00 m, no máximo, da entrada da edificação.

f) Afastamentos

- A altura mínima de aresta inferior da caixa deverá ser de 0,40 m, e a altura máxima de aresta superior da caixa deverá ser de 2,00 m com relação ao piso acabado.
- Entre a porta da cabina de proteção ou a tampa da caixa terminal e o obstáculo mais próximo, deverá ser previsto um espaço livre de 0,80 m, no mínimo.

14.3.5.2 Caixa de Distribuição (D)

Destina-se a distribuir os condutores para os equipamentos de medição, podendo, também, conter a proteção de ramal.

a) Isenção

Nos casos de ligação aérea em que um único ramal servir a mais de um consumidor, poderá ser dispensada a instalação da caixa de distribuição, quando não for necessário destinar um mesmo condutor-fase a mais de um consumidor.

b) Tipos e utilização

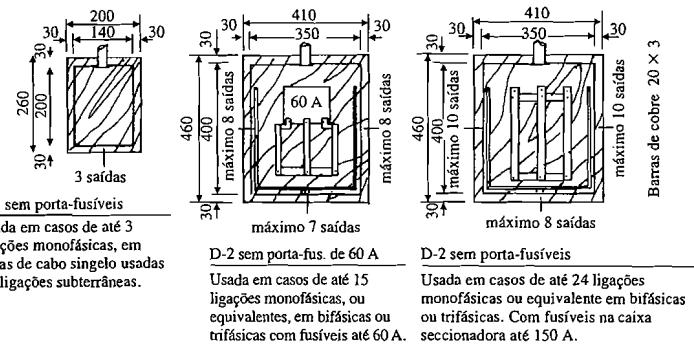


Fig. 14.8a Caixas de distribuição tipos D-1 e D-2.

Os tipos de caixa de distribuição são mostrados nas Figs. 14.8 e 14.9.

c) Proteção mecânica

A caixa de distribuição deverá ser protegida por meio de cabina de alvenaria com portas providas de abertura para ventilação. Quando instalada em local privativo, poderá ser dispensada a cabina de proteção.

d) Localização

A caixa de distribuição deverá ser instalada em local de fácil acesso, de serventia comum, a no máximo 5,00 m da entrada da edificação (distância física de acesso).

Será permitida, no entanto, sua instalação a distâncias maiores quando houver caixa seccionadora.

e) Afastamentos

Válido o que foi referido no item 14.3.5.1, f.

14.3.5.3 Caixa Seccionaladora

Tem por finalidade conter a proteção do ramal e facilitar o desligamento do prédio em casos de emergência. Será necessária sua utilização sempre que a caixa de distribuição situar-se a mais de 5,00 m da entrada da edificação (distância física de acesso).

a) Tipos e utilização

Os tipos de caixa seccionaladora são mostrados nas Figs. 14.10, 14.11, 14.12 e 14.13.

b) Proteção mecânica

Igual ao item 14.3.5.2, c.

c) Localização

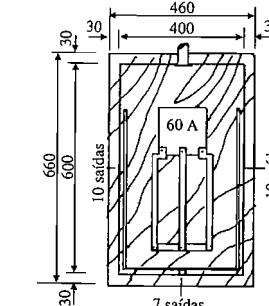
Igual ao item 14.3.5.2, d, além da observação:

Não será permitida a instalação nas áreas resultantes dos afastamentos mínimos observados, ou a observar, entre a edificação e o limite de propriedade com a via pública.

d) Afastamentos

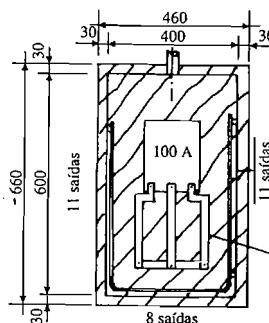
Igual ao item 14.3.5.1, f.

e) Entre a porta da cabina de proteção ou a tampa da caixa seccionaladora e o obstáculo mais próximo deverá ser previsto espaço livre de 0,80 m, no mínimo.

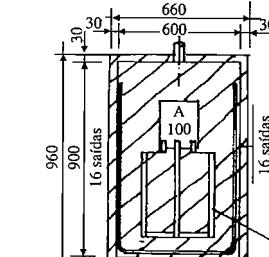
**D-3 com porta-fusíveis de 60 A**

Usada em casos de até 27 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas.

Distância com relação ao piso:
Aresta superior do quadro — máximo 2030
Aresta inferior do quadro — mínimo 470

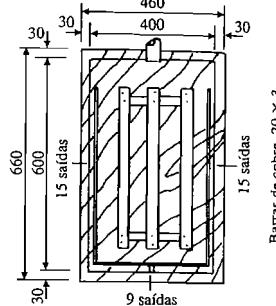


D-3-1 com porta-fusíveis de 100 A
Usada em casos de até 30 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas.

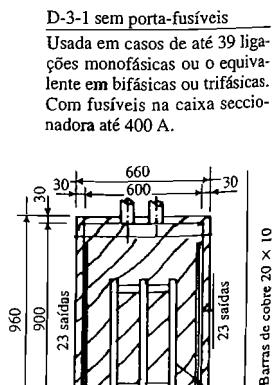
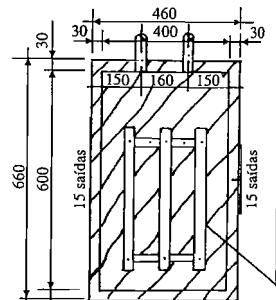


D-4 com porta-fusíveis de 300 A
Usada em casos de até 45 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas.

Dimensões em milímetros

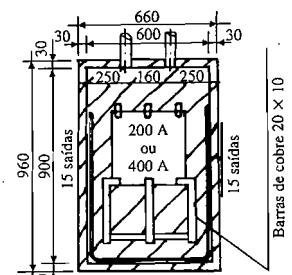
**D-3 sem porta-fusíveis**

Usadas em casos de até 39 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas. Com fusíveis na caixa seccionadora até 200 A.

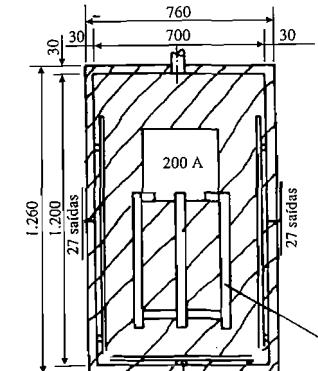


Dimensões em milímetros

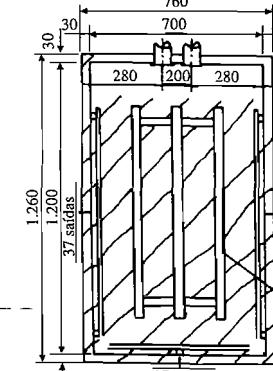
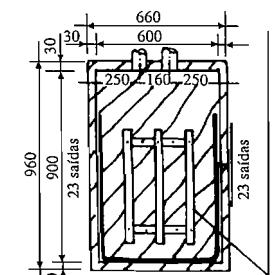
Fig. 14.8b Caixas de distribuição tipos D-3, D-3-1 e D-4



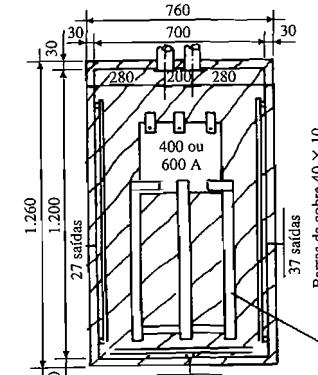
Distâncias com relação ao piso
Aresta superior do quadro-máximo 2030
Aresta inferior do quadro-mínimo 470



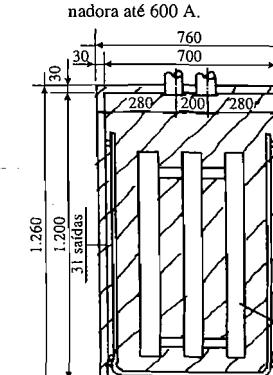
D-4-1 sem porta-fusíveis
Usada em casos de até 60 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas. Com fusíveis na caixa seccionalizadora até 600 A.



D-5 sem porta-fusíveis
Usada em casos de até 79 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas. Com fusíveis na caixa seccionalizadora até 600 A.



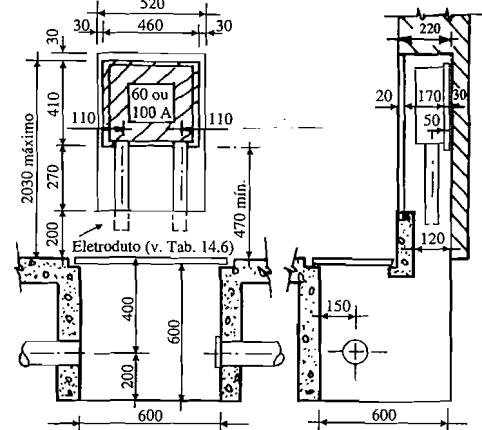
Distâncias com relação ao piso:
Aresta superior do quadro-máximo 2030
Aresta inferior do quadro-mínimo 470
Dimensões em milímetros



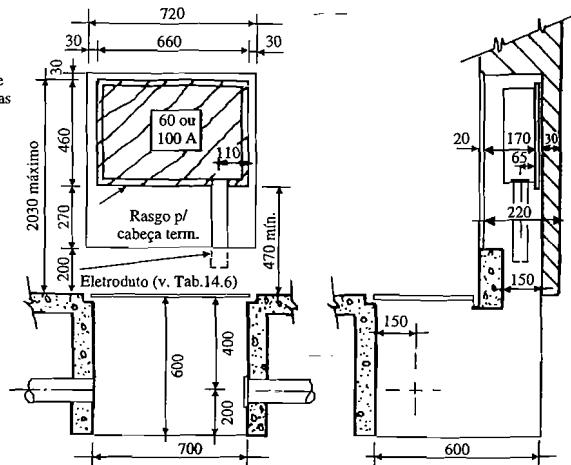
D-5-1 sem porta-fusíveis
Usada em casos de até 79 ligações monofásicas ou o equivalente em bifásicas ou trifásicas. Com fusíveis na caixa seccionalizadora até 800 A (2 x 400 A).

Fig. 14.9 Caixas de distribuição D-5 e D-5-1

S2: Para fusíveis de 60 a 100 A em zonas de cabo singelo



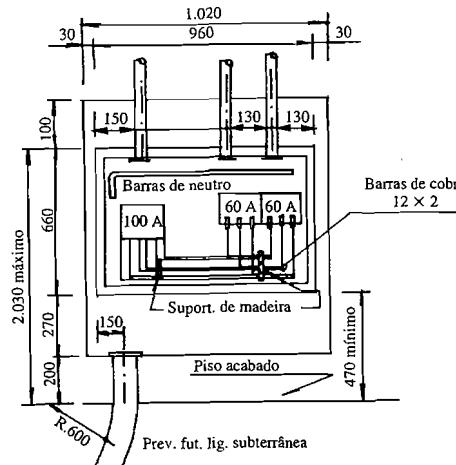
S3: Para fusíveis de 60 a 100 A em zonas de cabo armado



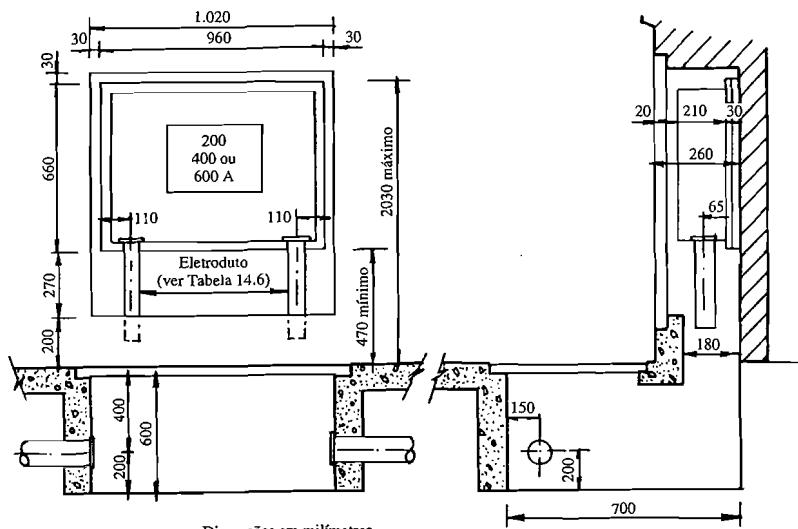
Dimensões em milímetros

Fig. 14.10 Caixas seccionadoras S2 e S3

S4 seccionadora e distribuidora primária — para fusíveis de 100 A (geral) e dois de 60 A (parciais)



S4 seccionadora — para fusíveis de 150 A a 600 A



Dimensões em milímetros

Fig. 14.11 Caixas seccionadoras S4

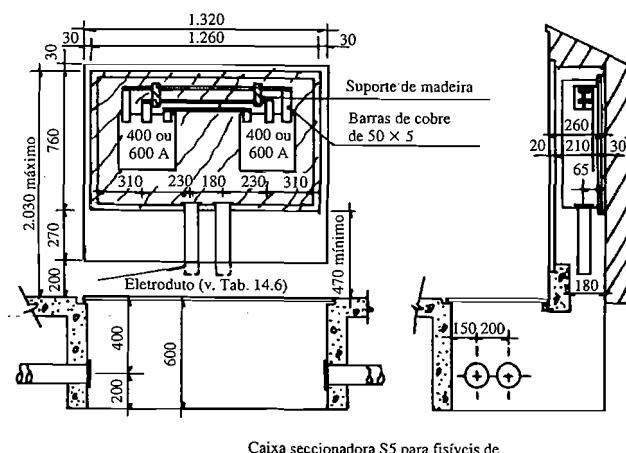
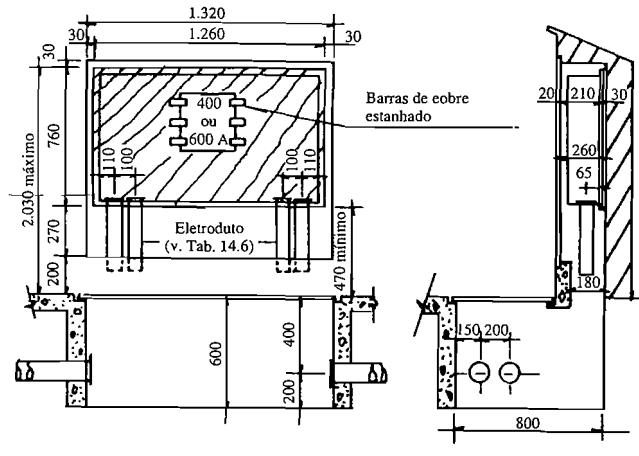
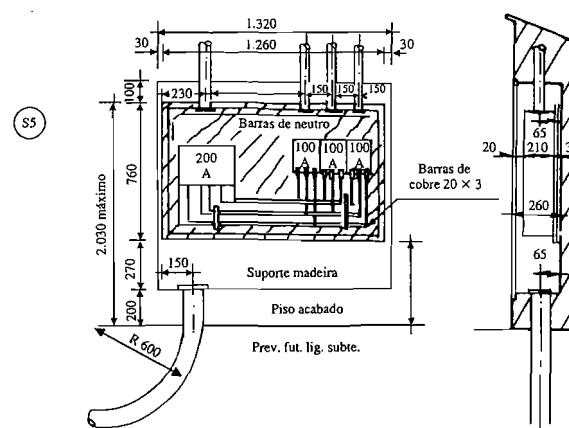
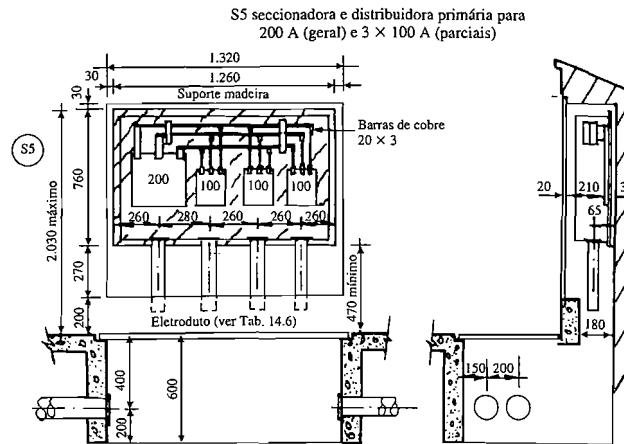


Fig. 14.12 Caixas seccionadoras S5



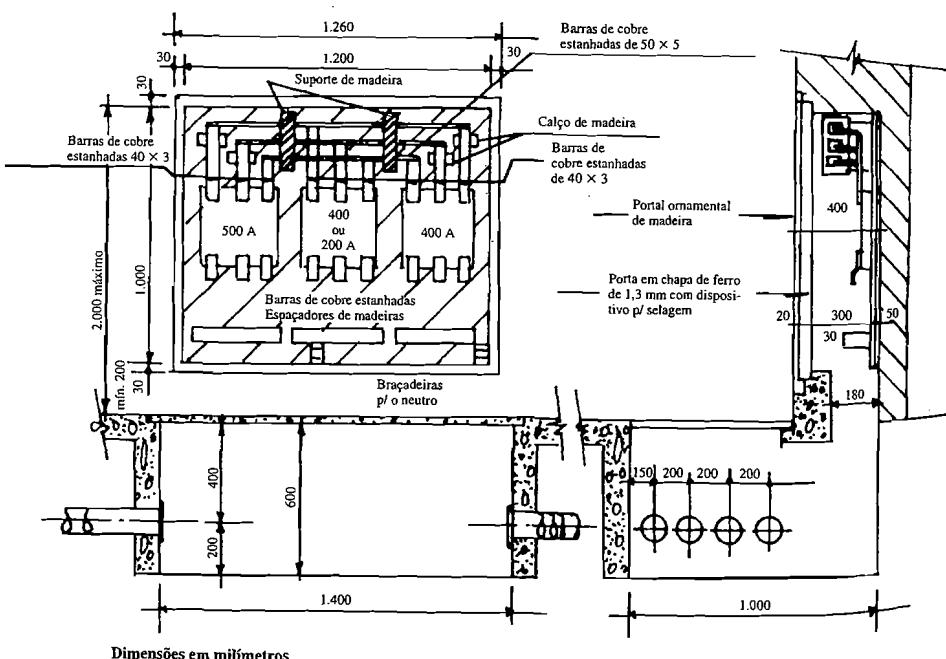
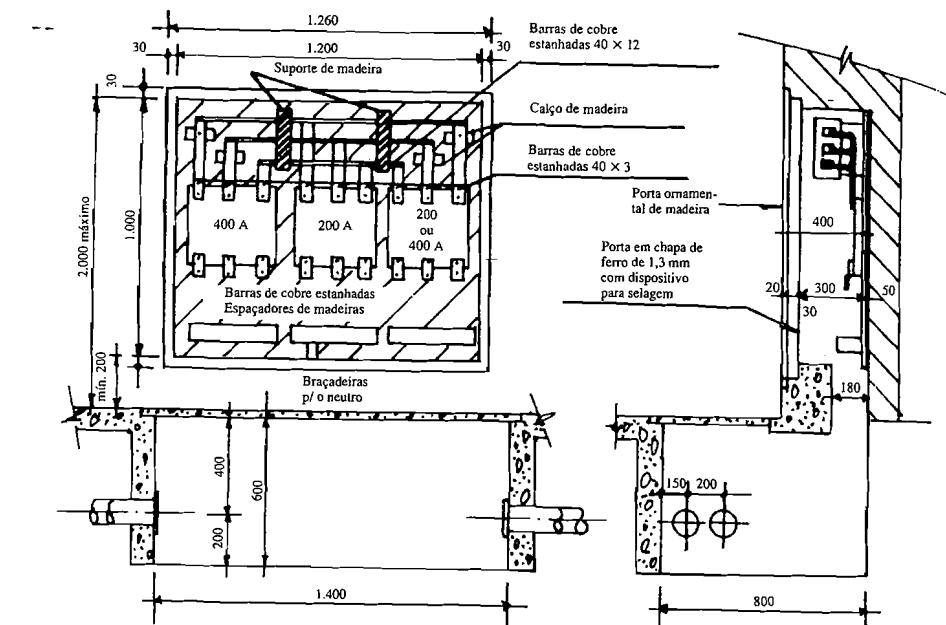
Dimensões em milímetros

Fig. 14.13 Caixas seccionadoras S5 e distribuidoras primárias

14.3.5.4 Gabinetes Especiais

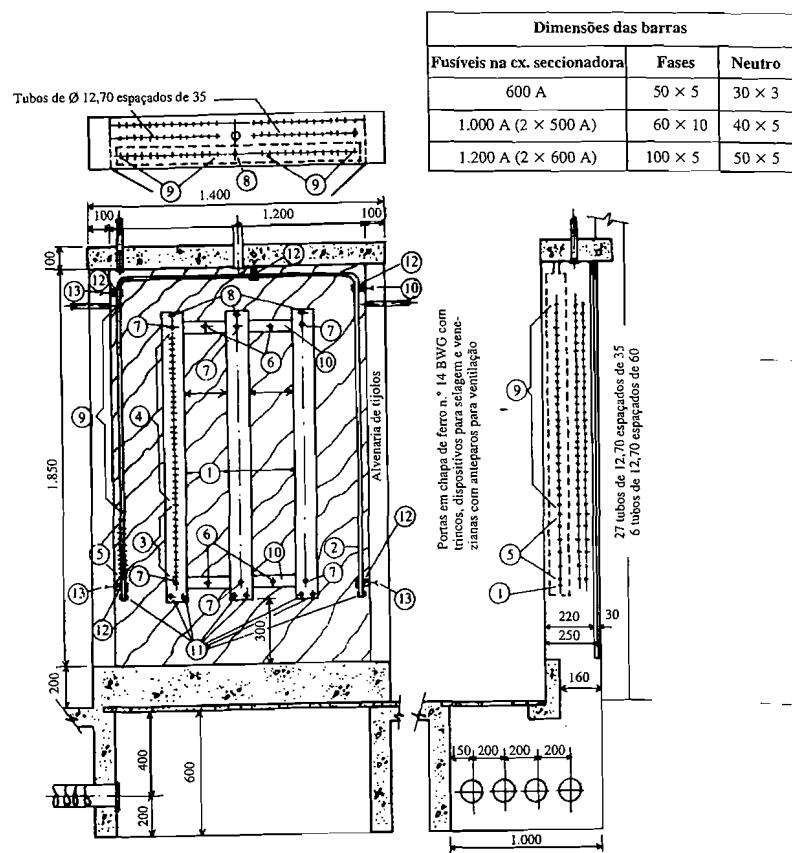
Quando os padrões estabelecidos nesta Regulamentação não atenderem às necessidades da instalação, serão aceitos gabinetes especiais para as finalidades prescritas nos itens 14.3.5.2 e 14.3.5.3, devendo para isto o interessado apresentar previamente o projeto para aprovação pela concessionária. Estes gabinetes deverão ser construídos em chapa metálica com espessura mínima de 2,0 mm, ou em alvenaria, com portas da mesma chapa com trincos e dispositivos para selagem.

Para os suprimentos em 380/220 V, estes gabinetes deverão ter as barras de neutro isoladas e barras de terra independentes. A Fig. 14.14 mostra dois gabinetes seccionadores, e a Fig. 14.15, um gabinete de distribuição.



Dimensões em milímetros

Fig. 14.14 Gabinetes seccionadores



Dimensões das barras		
Fusíveis na cx. seccionadora	Fases	Neutro
600 A	50 x 5	30 x 3
1.000 A (2 x 500 A)	60 x 10	40 x 5
1.200 A (2 x 600 A)	100 x 5	50 x 5

Dimensões em milímetros

Lista do material				
Item	Descrição	Quant.	Material	Obs.:
1	Barra de (vide quadro acima)	3	Cobre estanhado	Para as fases
2	Barra de (vide quadro acima)	11	Cobre estanhado	Para o neutro
3	Estojo 6,3 x 19 com porca e arruela	36	Latão	12 por barra-espacados de 35 de centro a centro
4	Parafusos de 4,8 x 12,7 com arruela	34	Latão	28 por barra-espacados de 25 de centro a centro
5	Estojo 6,3 x 19 com porca e arruela	12	Latão	6 em cada lado extremo da barra
6	Parafusos p/madeira	4	Aço	Cabeça redonda para item n.º 10
7	Parafusos de 6,3 x 38,1 com porca e arruela	6	Latão	Cabeça redonda para item n.º 10
8	Estojo de 6,3 x 19 com porca e arruela	4	Latão	
9	Parafusos de 4,8 x 38,1 com porca e arruela	32	Latão	Espaçados de 35 centro a centro
10	Supo. das barras de 700 x 50 x 50	2	Fibra	
11	Parafuso 12,7 x 31,7 com porca e arruela	16	Latão	
12	Espaçador de 25,4 x 30	5	Ferro	
13	Chumbadouro de 12,7 x 101,6 com porca e arruela	5	Ferro	

Dimensões em milímetros

Fig. 14.15 Gabinete de distribuição

14.3.6 MEDAÇÃO

O equipamento de medição será instalado pela concessionária, em local previamente preparado pelo interessado, dentro da propriedade particular, ou no seu limite com a via pública (muro), e servirá para medir, conjuntamente, o consumo de iluminação, cargas resistivas e força motriz.

14.3.6.1 Número de Fases

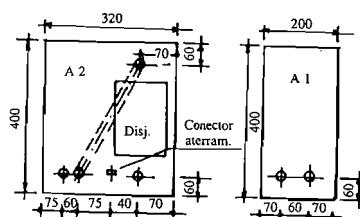
Na tensão de 220/127 volts, os medidores para instalações em carga instalada inferior ou igual a 4.400 watts serão supridos através de ramal constituído por uma fase e neutro. Os medidores para instalação com carga compreendida entre 4.400 watts e 8.800 watts serão supridos através de ramal constituído de duas fases e neutro. Os medidores para instalações com carga superior a 8.800 watts serão supridos através de ramal constituído por três fases e neutro.

Quadros para medidores 1φ, 2φ e 3φ (monofásicos, bifásicos e trifásicos)

Para uso exclusivo de:
residências, apartamentos, escritórios, boxe e serv.

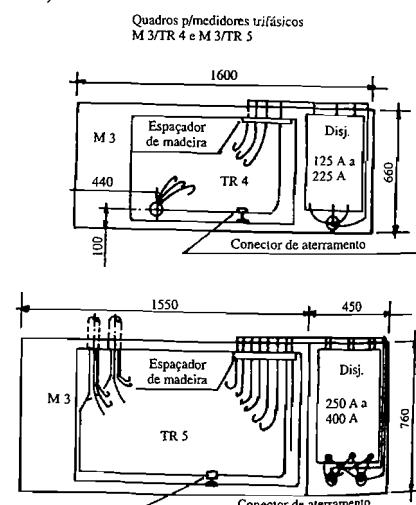
O Quadro A 2 será usado em instalações individuais

Quando houver caixa de distribuição, poderá ser usado a critério do interessado o Quadro A 1 com quadro adicional para chaves ou disjuntores.



Nota: As furações destinadas aos eletrodutos deverão obedecer às seguintes dimensões mínimas:

Condutor mm ²	Eletroduto ref. rosca
6	20 mm ou 3/4"
10	20 mm ou 3/4"
25	32 mm ou 1 1/4-
35	32 mm ou 1 1/4-



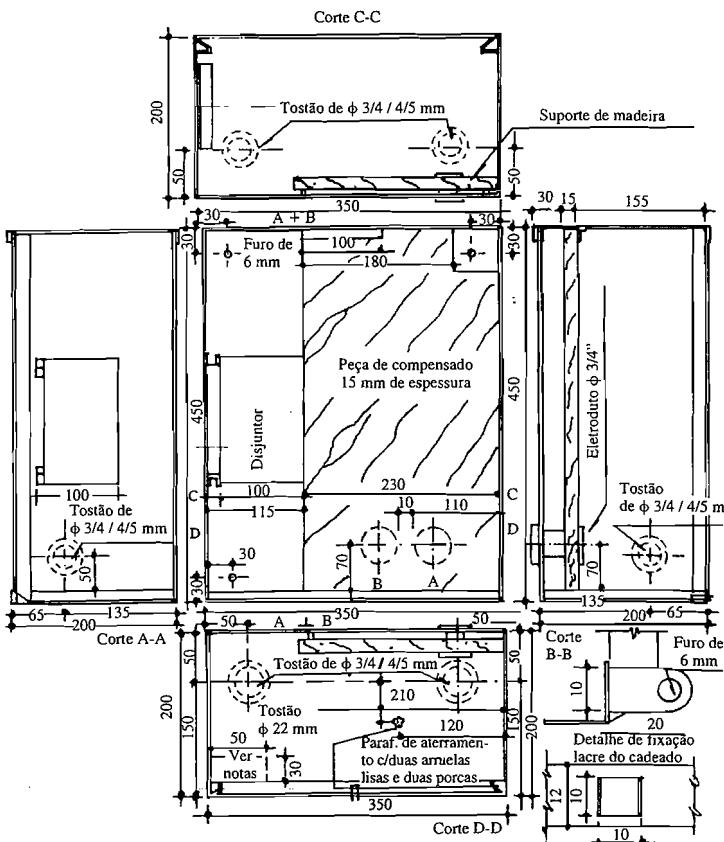
Distância em relação ao piso

Quadros	Aresta inferior mínima	Aresta superior máxima
A1 — A2	400 mm	2.000 mm
M3/TR4	470 mm	2.030 mm
M3/TR5	450 mm	2.050 mm

Fig. 14.16 Quadros para medidores mono, bi e trifásicos

14.3.6.2 Quadros

O consumidor deverá instalar, em local protegido, quadros de acordo com os padrões estabelecidos na Fig. 14.16, em madeira de lei, maciça ou compensado naval, com 15 mm de espessura, e guarnição em toda a volta de 25 mm de largura e 15 mm de espessura, no mínimo.



Dimensão em milímetros

Notas:

- 1 Usar chapa de ferro de 1,3 mm de espessura.
- 2) Parafusos, arruelas e porcas de latão, ou de aço galvanizado, exceto parafusos de aterramento que deverão ser de latão, de 6 × 25 mm cabeça redonda.
- 3) A caixa montada deverá ser estanque à penetração de água.
- 4) Suporte do medidor em compensado p/ forma de concreto (resinado) com 15 mm de espessura.
- 5) O vidro do visor deverá ter 4 mm de espessura.
- 6) Medidas em milímetros, sendo tolerado erro de ± 2%.
- 7) A entrada dos condutores de energia não medida só poderá ser feita pela face posterior da caixa, através do furo A.
- 8) Os condutores de energia medida oriundos do medidor com destino à proteção deverão ser introduzidos no furo B, passando entre o quadro de madeira e o fundo da caixa.

Fig. 14.17 Caixa para medidor polifásico em fibra de vidro ou em ferro galvanizado

Nos casos em que a proteção seja feita, opcionalmente, por fusíveis NH, deverá ser projetado quadro adicional com dimensões compatíveis com as do dispositivo a ser utilizado.

Alternativamente, de acordo com as notas nas Tabelas 14.1, 14.2 e 14.3, poderá ser usada caixa para medidor em fibra de vidro ou ferro galvanizado, com as dimensões fixadas na Fig. 14.17.

Para os suprimentos em 380/220 V, todos os quadros deverão possuir placas indicativas da tensão de serviço:

- 220 V, nos casos de suprimento monofásico (três fios: fase + neutro + terra).
- 380/220 V, nos casos de suprimento bi ou trifásico (quatro ou cinco fios).

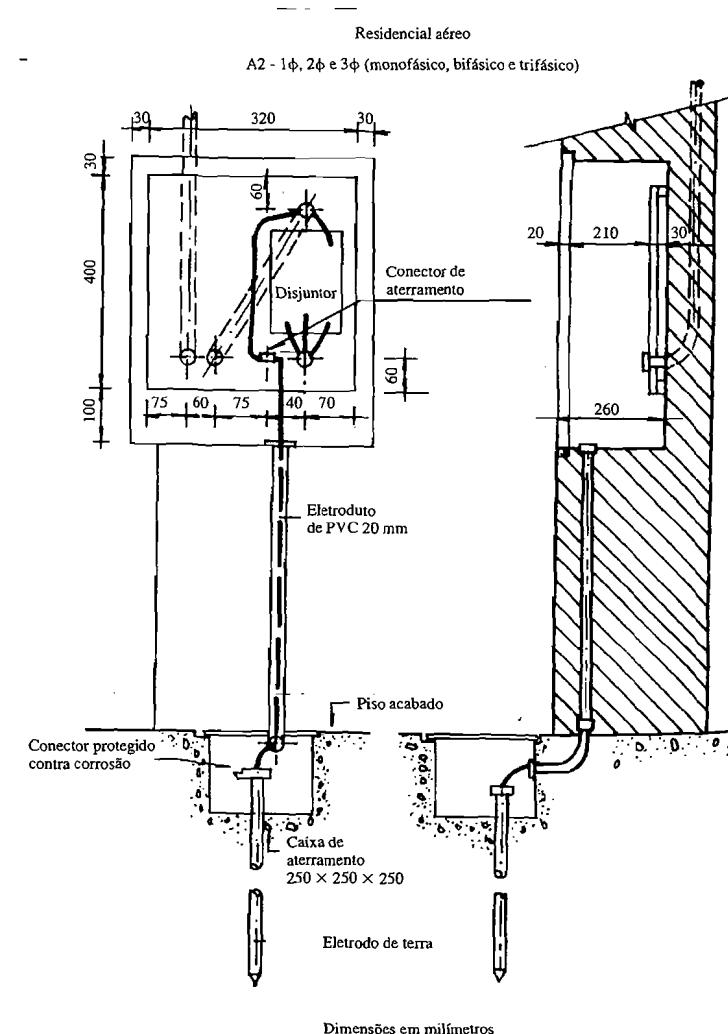


Fig. 14.18 Quadros para medidor trifásico. Cabinas individuais para medidores mono, bi e trifásicos

14.3.6.3 Concessão

a) *Medição individual*

- Residências possuindo banheiro e cozinha independentes.
- Galpões, lojas, boxes e escritórios, quando constituírem economia independente.

b) *Medição coletiva*

- Boxes. Um único equipamento de medição para todos os boxes, quando constituírem uma única economia.
- Escritórios. Um único equipamento de medição por pavimento ou para todos os escritórios, quando constituírem uma única economia.
- Serviço. Será concedido um único medidor para iluminação e força motriz para as utilidades comuns de condomínio ou vila.

Quando a propriedade for constituída por vários blocos em condomínio, será concedido equipamento de medição a cada bloco, independentemente.

14.3.6.4 Proteção Mecânica

Os medidores devem ser protegidos por meio de cabines de alvenaria, com portas providas de aberturas para ventilação (ver Figs. 14.18, 14.19 e 14.20). Quando instalados no limite da propriedade (muro), as portas deverão ser providas de visor e dispositivo para tranca.

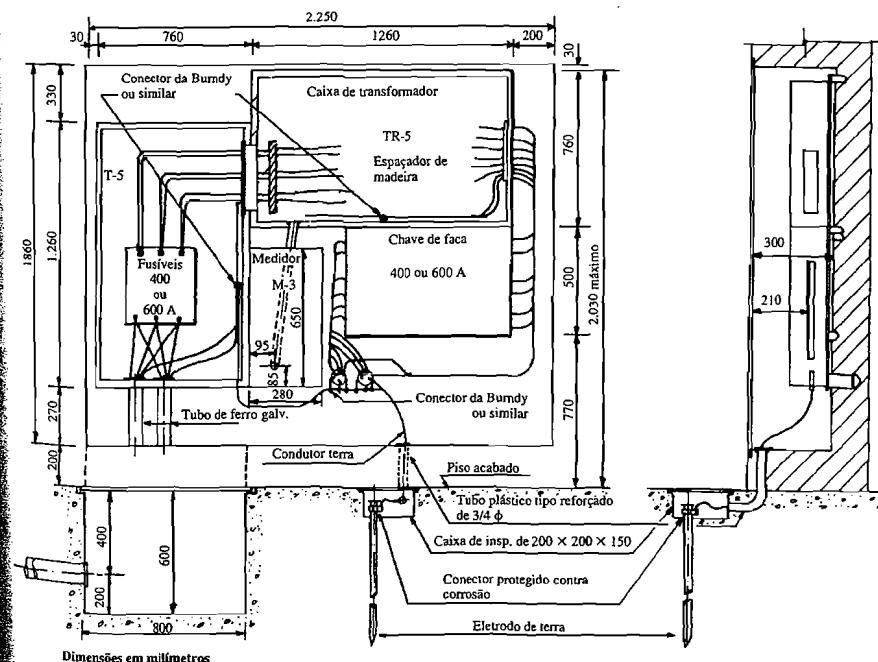


Fig. 14.19 Cabina para medidor 3φ, 400 ou 600 A

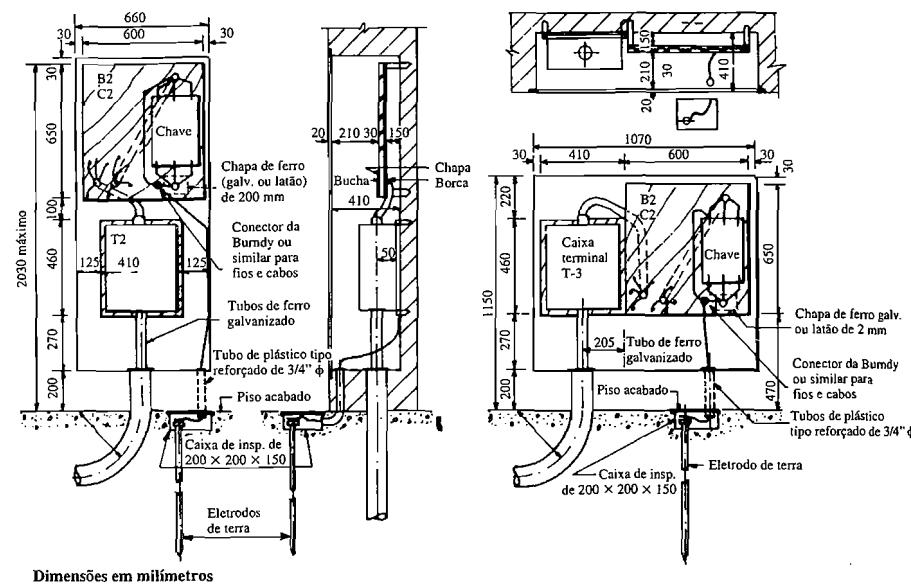


Fig. 14.20 Exemplo de cabina de medição

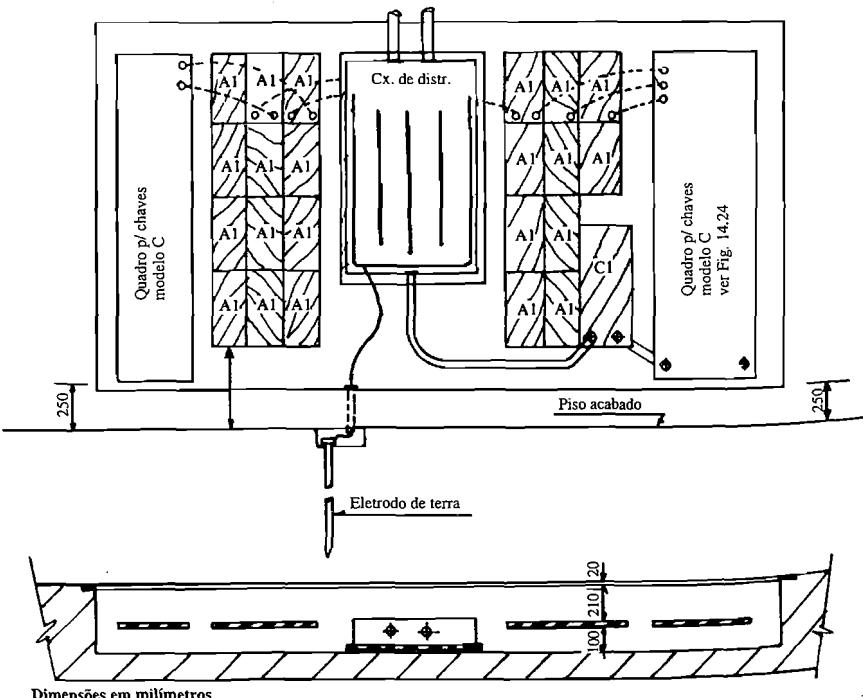


Fig. 14.21 Exemplo de cabina para medidores A1

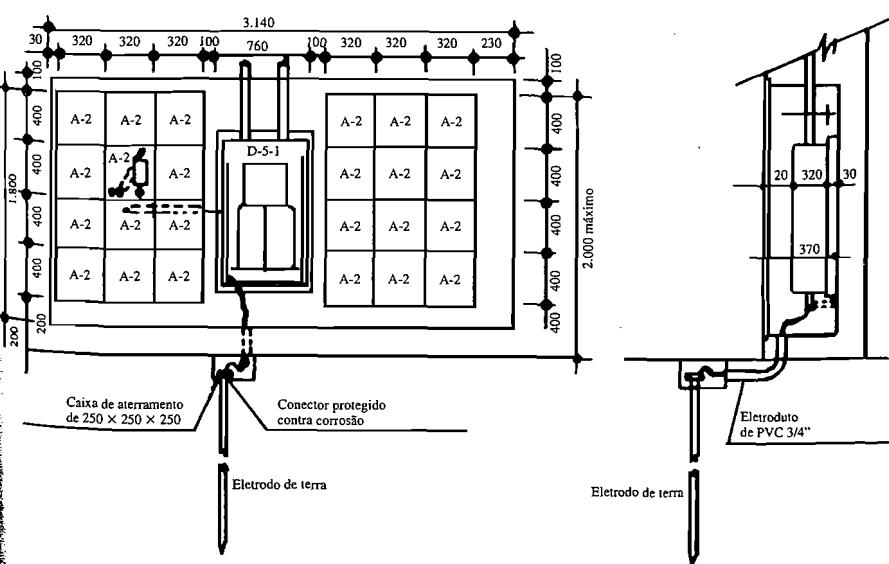
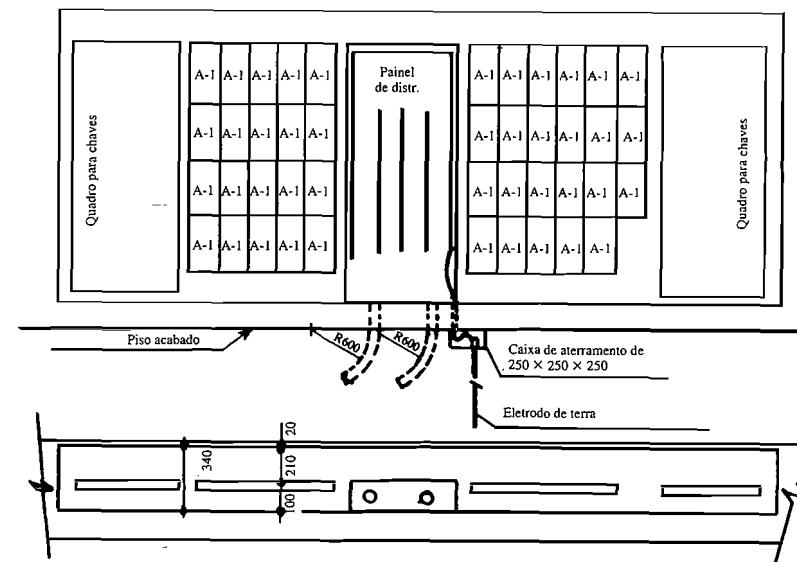


Fig. 14.22 Exemplos de cabinas para medidores

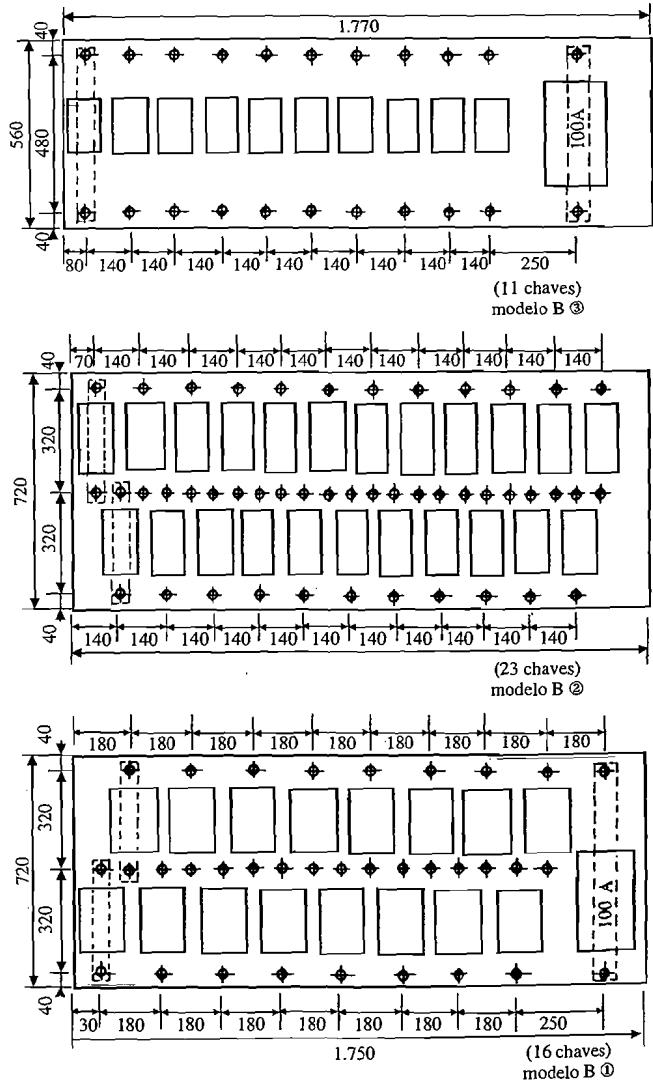


Fig. 14.23 Detalhe de quadros para chaves localizadas em cabinas (ver Fig. 14.22)

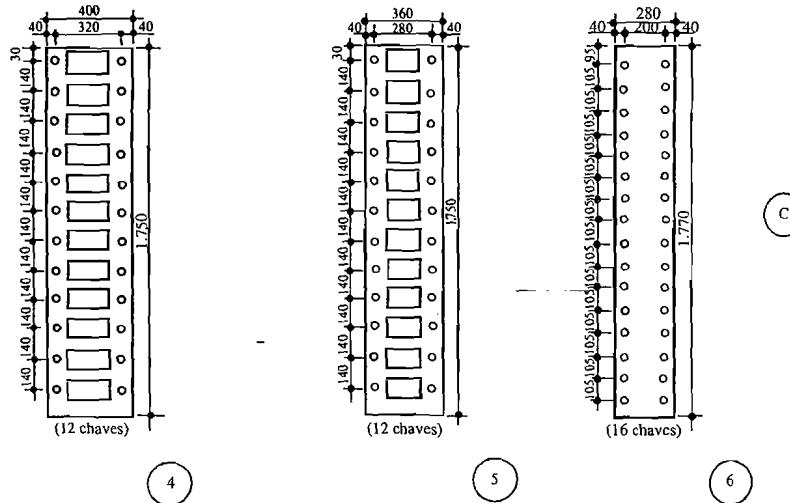


Fig. 14.24 Detalhes dos quadros para chaves-metido

A cabina de proteção poderá ser dispensada quando os medidores forem instalados em local privativo (compartimento).

14.3.6.5 Eletroduto do Medidor

Nas ligações coletivas, deverão ser empregados, entre a caixa de distribuição e o quadro do medidor, eletrodutos flexíveis metálicos ou rígidos de PVC, dimensionados de acordo com a Tabela 14.6, em instalação aparente.

A fixação dos eletrodutos no quadro do medidor e nas caixas deverá ser feita por meio de boxes curvos e retos, respectivamente.

14.3.6.6 Condutores

Os condutores do medidor deverão ser dimensionados segundo os critérios de carga instalada ou demandada.

14.3.6.7 Localização e Afastamentos

- O local destinado aos equipamentos de medição deverá ser isento de fumo, umidade, gases, vibrações ou quaisquer impedimentos que possam prejudicar a sua conservação ou funcionamento, e provido de iluminação artificial.
- O equipamento de medição não deverá ser instalado em dormitórios, cozinhas, dependências sanitárias, locais sujeitos a abalroamentos por veículos, divisões de madeira ou vitrinas e garagens (salvo em cabines com proteção mecânica adequada, a no mínimo 70 cm das portas).

Exceção é feita a medidores de serviço conectados antes da proteção geral de entradas coletivas, que poderão ser instalados em rampas ou entrada de acesso a garagens.

- Tendo em vista prevenir a influência de campos magnéticos, deverão ser mantidas as seguintes distâncias mínimas entre barramentos e medidores:

Corrente para a qual o barramento é dimensionado (A)	Distância mínima entre o barramento e os medidores para faturamento (m)
800	0,45
1.000	0,50
1.200	0,60
1.600	0,80
2.000	1,00
3.000	1,50
4.000	2,00

— Nas áreas resultantes dos afastamentos mínimos obrigatórios observados ou a observar entre as edificações e o limite de propriedade, somente será permitida a instalação de um único medidor, com finalidade residencial.

— Em entradas individuais, os equipamentos de medição deverão ser instalados dentro da propriedade particular, em local de fácil acesso, a distância não superior a 5,00 m da entrada da edificação, junto à caixa terminal ou de distribuição, no pavimento térreo, primeiro subsolo ou primeiro mezanino.

Será permitida, no entanto, a instalação de medidores a distâncias superiores, quando:

Tratar-se de residência isolada em zona de distribuição aérea, onde poderá ser instalada até à distância máxima de 10,00 m do limite da propriedade com a via pública.

Existir caixa seccionadora instalada:

— Em conjuntos residenciais e casas de vilas supridas por entradas individuais, os equipamentos de medição deverão ser instalados nos respectivos prédios.

— O *equipamento de medição das lojas* (exceção feita às supridas por ramais independentes) deverá ser instalado junto com os demais medidores do prédio.

Entretanto, poderá, também, ser instalado no interior das respectivas lojas, ligado através de gabinetes de distribuição especial constituídos de proteção geral e proteção individual para o ramal da loja. O local destinado ao gabinete de distribuição deverá ser de livre acesso a todos os consumidores do prédio, incluindo as lojas.

— Em *prédios de mais de cinco pavimentos*, será permitida a instalação dos equipamentos de medição em mais de um pavimento, desde que em cada agrupamento estejam localizados sete ou mais equipamentos de medição.

— Quando abrangido pelas prescrições da Norma Técnica EMB-BM/7-NT-014/79, do Corpo de Bombeiros do Rio de Janeiro, o equipamento denominado *medidor de serviço* deverá ser instalado das seguintes formas:

— conectado nos contatos elétricos anteriores aos do dispositivo de proteção e desligamento geral do prédio;

— próximo à caixa seccionadora, quando esta se fizer necessária, a distância nunca superior a 5 m da porta de entrada do pavimento de acesso;

— próximo ao disjuntor automático, quando se tratar de prédios com cargas de vulto;

— o quadro de medição deverá ser instalado de forma que sua aresta inferior fique à distância mínima de 0,40 m e a aresta superior, à distância máxima de 2,00 m, ambas com relação ao piso acabado;

— entre a porta da cabina de proteção ou a face frontal do equipamento de medição e o obstáculo mais próximo, deverá ser previsto espaço livre de 0,80 m, no mínimo.

Tabela 14.7 Limite de condução de corrente para barras de cobre de seção retangular --

Largura × espessura (mm)	Número de barras no feixe			
	1	2	3	4
Corrente máxima admissível (A)				
12 × 2	108	182	216	—
15 × 2	128	212	247	—
15 × 3	162	282	361	—
20 × 2	162	264	298	—
20 × 3	204	348	431	—
20 × 5	274	500	690	—
20 × 10	427	825	1.180	—
25 × 3	245	412	498	—
25 × 5	327	586	795	—
30 × 3	285	476	564	—
30 × 5	379	627	896	—
30 × 10	573	1.060	1.480	—
40 × 3	366	600	690	—
40 × 5	482	836	1.090	—
40 × 10	715	1.290	1.770	2.280
50 × 5	583	994	1.260	1.920
50 × 10	852	1.510	2.040	2.600
60 × 5	688	1.150	1.440	2.210
60 × 10	985	1.720	2.300	2.900
80 × 5	885	1.450	1.750	2.720
80 × 10	1.240	2.110	2.790	3.450
100 × 5	1.080	1.730	2.050	3.190
100 × 10	1.490	2.480	3.260	3.980
120 × 10	1.740	2.860	3.740	4.500
160 × 10	2.220	3.590	4.680	5.530
200 × 10	2.690	4.310	5.610	6.540

Notas:

1) Nesta tabela foram consideradas:

- Temperatura ambiente — 35°C

- Temperatura do barramento — 65°C

2) As barras do feixe devem conservar entre si espaçamento igual ou maior que sua espessura, exceto no feixe de 4 barras, onde o espaçamento entre a 2.^a e a 3.^a barras deve ser de 50 mm.

3) O afastamento mínimo entre barras de diferentes fases e entre estas e estruturas de montagem deve ser tal que, quando da ocorrência de flechas máximas provenientes dos esforços eletrodinâmicos, esses valores não sejam inferiores a 60 mm para tensões até 300 V e 100 mm para tensões superiores.

14.3.7 BARRAMENTOS

Quando o vulto da carga exigir a instalação de painéis de distribuição para a divisão da carga em vários agrupamentos de medidores, serão empregadas barras de cobre de seção retangular cujas capacidades estão indicadas na Tabela 14.7.

14.3.7.1 Dimensionamento

A corrente nominal das barras deverá ser especificada a partir da *demand*a em ampères da instalação, calculada conforme o item 3.9.2, e deverá ser, no mínimo, igual à corrente nominal do dispositivo de proteção.

14.3.7.2 Instalação e Afastamentos

Deverão ser observadas as prescrições fixadas na NBR 5410/97.

Nota: O instalador deverá indicar nos desenhos de detalhes das barras os seguintes elementos utilizados em seu dimensionamento eletrodinâmico:

- Corrente de curto-círcuito simétrica.
- Dimensões das barras.
- Posição de instalação das barras, no que tange ao eixo dos esforços.
- Distância entre fases e/ou entre barras.
- Distâncias entre pontos de apoio.
- Calços entre barras e respectivos afastamentos, quando existentes.

14.3.8 BARRAMENTOS BLINDADOS (BUS-WAY)

Quando o transporte ou a distribuição de energia em edifícios for feita em considerável distância ou com elevada densidade de carga, poderá ser empregado o sistema de barras blindadas ou encapsuladas.

14.3.8.1 Dimensionamento

O valor da corrente nominal das barras deverá ser especificado para as condições de encapsulamento, ou seja, temperatura ambiente padrão de 40°C e final de 70°C, ser no mínimo igual à corrente nominal do dispositivo de proteção das referidas barras e ser compatível com a corrente de demanda calculada, conforme o item 3.9.2.

Para temperaturas ambientes superiores a 40°C, o valor da corrente nominal das barras deverá ser multiplicado pelos seguintes fatores de correção:

45°C	0,95
50°C	0,90
55°C	0,85
60°C	0,80
65°C	0,74
74°C	0,67

14.3.8.2 Instalação e Detalhes Construtivos

- O sistema de barras blindadas deverá ser projetado e instalado de modo a suportar as situações térmicas e dinâmicas produzidas por curtos-circuitos.
- Os involucros deverão assegurar proteção adequada contra contatos diretos em serviço normal.
- As instalações pré-fabricadas deverão ser fixadas sobre elementos estáveis dos prédios que lhe propiciem uma solidez suficiente a intervalos de 5,00 m, no máximo.

Tabela 14.8 Bitola mínima do condutor de aterramento

Seção "S" dos condutores — fase da instalação (mm ²)	Seção mínima do condutor do aterramento (mm ²)
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	0,5 S

— Os involucros deverão ser aterrados, e a continuidade elétrica dos mesmos deverá ser assegurada em todas as emendas.

Nota: O instalador deverá elaborar desenhos de acordo com catálogos do fabricante contendo as dimensões das barras, afastamentos entre polaridades opostas e os detalhes construtivos e de fixação, além do diagrama unifilar completo da instalação com as principais características elétricas e a parte referente ao duto blindado.

14.3.9 ATERRAMENTO

14.3.9.1 Ligações à Terra

Em cada prédio, no ponto de alimentação de energia e como parte integrante da instalação, deverão ser instalados um ou mais eletrodos de aterramento, formando uma malha de resistência não superior a 25 ohms, à qual deverá ser conectado o condutor neutro do ramal de entrada.

14.3.9.2 Ligação de Equipamentos à Terra

Os equipamentos elétricos, suas estruturas e todas as partes condutoras normalmente sem tensão deverão ser permanentemente ligados à terra.

14.3.9.3 Eletrodo de Aterramento

Deverá ser usada, preferencialmente, como eletrodo de aterramento, haste de aço cobreado com comprimento mínimo de 2,00 m.

Deverão ser feitas, pelo consumidor, inspeções periódicas objetivando garantir as condições ideais de aterramento.

14.3.9.4 Condutor de Aterramento

O condutor de aterramento deverá ser de cobre, preferencialmente nu, de seção mínima dimensionada em função dos condutores do ramal de entrada, conforme a Tabela 14.8.

Deverá ser tão curto e retilíneo quanto possível, sem emendas, e não conter chaves ou quaisquer dispositivos que possam causar sua interrupção.

Deverá ser protegido mecanicamente por meio de eletroduto, preferencialmente de PVC rígido. Quando for utilizado eletroduto metálico, o condutor de aterramento deverá ser conectado ao mesmo em ambas as extremidades.

O ponto de conexão do condutor de aterramento com o eletrodo deverá ser acessível à inspeção e protegido mecanicamente por meio de caixa de cimento, alvenaria ou simi-

lar, conforme a Fig. 14.6. Esta conexão deverá ser feita por meio de conectores especiais, de material protegido contra corrosão.

14.3.9.5 Número de Eletrodos

O aterramento deverá obedecer às seguintes prescrições:

a) *Entradas individuais*

- Com demanda avaliada até 75 kVA.
Deverá ser instalada, no mínimo, uma haste.
- Com demanda avaliada entre 75 e 200 kVA.
Deverão ser instaladas, no mínimo, três hastes em paralelo e separadas entre si, pelo menos, por um comprimento igual ao da haste.
- Com demanda superior a 200 kVA.
Deverão ser instaladas, no mínimo, seis hastes em paralelo e separadas entre si, pelo menos, por um comprimento igual ao da haste.

b) *Entradas coletivas*

- Com até seis unidades consumidoras.
Deverá ser instalada, no mínimo, uma haste por unidade consumidora, formando uma malha de aterramento.
- Com mais de seis unidades consumidoras.
Deverá ser feita malha de aterramento composta de, no mínimo, seis hastes em paralelo afastadas entre si, pelo menos, por um comprimento igual ao da haste.

14.3.9.6 Consumidores Supridos em 380/220 V

- A malha de terra da instalação consumidora, composta de, no mínimo, seis hastes em paralelo e afastadas entre si, pelo menos, por um comprimento igual ao da haste, deverá ter resistência igual ou inferior a 10 ohms.

- Essa malha deverá ser sempre interligada à malha de terra da câmara da concessionária, da seguinte maneira:

Nos prédios em que os transformadores são instalados numa única câmara, através de dois cabos de 120 mm² de cobre nu.

Nos prédios com transformadores distribuídos pelos andares, através de condutores de cobre nu de bitola a ser especificada pela concessionária.

- A esta malha deverão ser conectadas, através do condutor terra, as caixas protetoras de dispositivos elétricos e carcaças de equipamentos elétricos, em geral, da concessionária e dos consumidores.

O condutor terra deverá ser nu, de mesma bitola que o neutro, e percorrerá, juntamente com os condutores fase e neutro, todas as instalações elétricas do prédio. O condutor neutro deverá ser isolado e nunca deverá servir aos propósitos de aterramento de que trata este item.

- O instalador deverá apresentar à concessionária duas cópias do projeto detalhado da referida malha.

14.4 SISTEMA ELÉTRICO DE EMERGÊNCIA EM PRÉDIOS ALIMENTADOS EM BAIXA TENSÃO

14.4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

As instalações de detecção, alarme e combate a incêndio são, sem dúvida, as de maior importância para a segurança. Seu elevado custo e a presunção de que nunca

venha a ser necessária sua utilização fazem com que algumas pessoas, numa irresponsabilidade consciente ou não, vejam nestas instalações um “luxo”, uma despesa injustificável. Acontece que existe a sinistra possibilidade de que as referidas instalações venham um dia a ser necessárias. Não há despesa cujo valor possa ser considerado maior que o valor de uma vida humana e a integridade física de uma pessoa. Economizar na instalação de combate a incêndios com sofismas delirantes que procurem justificar uma economia insensata é não apenas uma atitude antiética e anti-social mas, também, infíqua e até criminosa. Só em 1995, na cidade do Rio de Janeiro, o Corpo de Bombeiros atendeu a 12.165 incêndios, muitos dos quais tiveram origem no sistema elétrico.

Deve-se ter a preocupação de que as instalações relacionadas com a segurança, o combate ao incêndio e a prevenção contra o pânico possam funcionar na eventualidade da irrupção de um incêndio. Para isso, além das instalações propriamente ditas, é necessário que haja garantia de fornecimento de energia elétrica, que tem sofrido constantes interrupções, conforme prevíramos, devido ao atraso na conclusão das obras de expansão do sistema gerador brasileiro (usinas hidroelétricas, térmicas e nucleares). O suprimento desta energia, segundo vários regulamentos e normas, é realizado com um sistema de emergência utilizando-se um grupo motor-gerador diesel-elétrico, o qual é automaticamente ligado ao ser cortado o fornecimento de energia ao prédio.

Entretanto, algumas empresas fornecedoras de energia elétrica, como a Light — Serviços de Eletricidade S.A. —, de comum acordo com o Corpo de Bombeiros, estabeleceram normas para que os serviços essenciais e de combate a incêndio recebam um suprimento de energia com alimentação anterior à caixa seccionadora ou disjuntor geral, de tal modo que, quando a energia do prédio vier a ser interrompida, os serviços essenciais à segurança e combate a incêndio possam funcionar. Nesta hipótese, não haverá necessidade de que seja instalado o grupo diesel-elétrico de emergência, cuja adequada manutenção para uma pronta partida e confiável operação é, muitas vezes, uma incognita.

O Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro aprovou a Norma Técnica EMGBM/7-NT014/79 sob o título *Sistema Elétrico de Emergência em prédios alimentados em baixa tensão*. Aplica-se a mesma ligação elétrica ao sistema de detecção, iluminação de serviço (partes de uso comum do prédio), luz de emergência, elevadores, bombas de alimentação de água para redes de hidrantes e *sprinklers* e demais equipamentos necessários à prevenção, alarme e evacuação de prédios atingidos por sinistros, em edificações alimentadas por rede secundária (baixa tensão) ou por rede em alta tensão, posteriormente transformada em rede secundária em baixa tensão.

14.4.2 PRESCRIÇÕES GERAIS

14.4.2.1 Suprimento

Os equipamentos das instalações acima mencionadas serão supridos eletricamente por meio da ligação denominada *medidor de serviço*.

14.4.2.2 Independência do Suprimento

Os condutores elétricos que suprirão o medidor de serviço serão conectados nos contactos elétricos anteriores (linha) do dispositivo de proteção e desligamento geral da ligação da edificação, de modo a permitir o funcionamento dos equipamentos referidos no item 14.4.1, mesmo que o dispositivo de proteção geral e desligamento da edificação seja acionado.

14.4.2.3 Localização

A ligação denominada *medidor de serviço* será executada do seguinte modo:

- Próxima à caixa de distribuição do suprimento geral de energia do prédio, quando esta estiver instalada em local de fácil acesso a distância nunca superior a 5 m (cinco metros) das portas de entrada social, de serviço ou de acesso ao compartimento destinado aos equipamentos de medição.
- Próxima à caixa seccionadora quando for exigida pela concessionária de energia elétrica, a distância nunca superior a 5 m (cinco metros) das portas de entrada social, de serviço ou de acesso ao compartimento destinado aos equipamentos de medição.
- Próxima ao disjuntor automático de proteção geral, quando se tratar de prédios com cargas de vulto e exigido pela concessionária.

14.4.2.4 Quadro de Distribuição

Haverá um quadro de distribuição geral instalado na cabina, contendo os dispositivos de proteção e manobras dos equipamentos de prevenção e combate a incêndio, iluminação de serviço, elevadores e demais equipamentos vitais de utilização de serviço do prédio. Todos os circuitos deverão ser identificados, e na parte externa da cabina deverá ser colocada uma placa com a seguinte inscrição: "CHAVES DE SERVIÇO DE EMERGÊNCIA."

a) Localização

O quadro de distribuição será instalado no pavimento de acesso, próximo ao dispositivo de proteção e desligamento geral da edificação. Quando houver disjuntor geral automático, o quadro de distribuição ficará próximo à "botoeira de desligamento e a menor distância do disjuntor".

b) Distância com relação ao piso acabado

O quadro de distribuição será instalado de forma tal que os dispositivos de proteção e manobra fiquem a altura não inferior a 40 cm (quarenta centímetros) do piso acabado e não excedente a 1,50 m (um metro e cinqüenta centímetros) do referido piso.

c) Espaço livre

Entre a porta da cabina do quadro de distribuição e o obstáculo mais próximo, será previsto espaço livre de 1 m (um metro), no mínimo.

d) Circuitos

A partir do quadro de distribuição serão executados circuitos independentes para:

- Elevadores.
- Iluminação de serviço.
- Iluminação de emergência.
- Sistema de detecção.
- Bombas que recalcam em redes de combate a incêndio sob comando, canalizações e abastecimento do prédio.
- Sistemas de *sprinklers*, quando houver.
- Outros equipamentos de serviço do prédio.

14.4.2.5 Execução e Seleção dos Componentes

As instalações serão executadas obedecendo às prescrições das normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

14.4.3 DESLIGAMENTO

O desligamento dos prédios será sempre através do dispositivo de proteção instalado na caixa de distribuição, ou caixa seccionadora, e, quando se tratar de prédio com carga de vulto em que o emprego do disjuntor geral automático for exigido pela concessionária, por meio do dispositivo de desligamento a distância. Nesta última hipótese, este dispositivo será constituído por uma botoeira no interior de uma caixa metálica, de cor vermelha, com proteção de vidro e instalado em local visível e de fácil acesso à distância máxima de 5 m (cinco metros) da porta de entrada do pavimento de acesso e à altura aproximada de 1,50 m (um metro e cinqüenta centímetros) do piso acabado. Esta forma de desligamento manterá a ligação denominada *medidor de serviço* e todos os circuitos por ela supridos energizadas para as manobras e funções dos diversos equipamentos.

- Quando houver necessidade, por solicitação do Comandante de Socorro e, exclusivamente, nos casos de ligações aéreas, poderá ser, também, efetuado o desligamento por meio de corte dos condutores do ramal de ligação fixados em suportes na propriedade particular do consumidor ou na derivação da rede do logradouro no poste da concessionária. Neste caso, todo o prédio ficará sem energia, inclusive os equipamentos de combate ao fogo.

14.4.4 ESQUEMAS BÁSICOS

As figuras que se seguem esquematizam as diversas formas de ligação previstas na presente norma, de acordo com os padrões vigentes na Concessionária Light — Serviços de Eletricidade S.A.

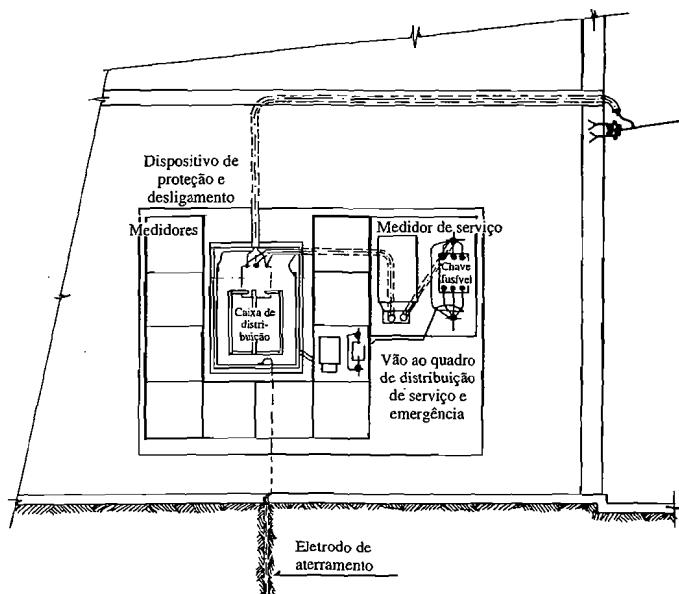


Fig. 14.25 Cabina de medição, 5 metros no máximo da porta de entrada, ligação aérea, padrão Light

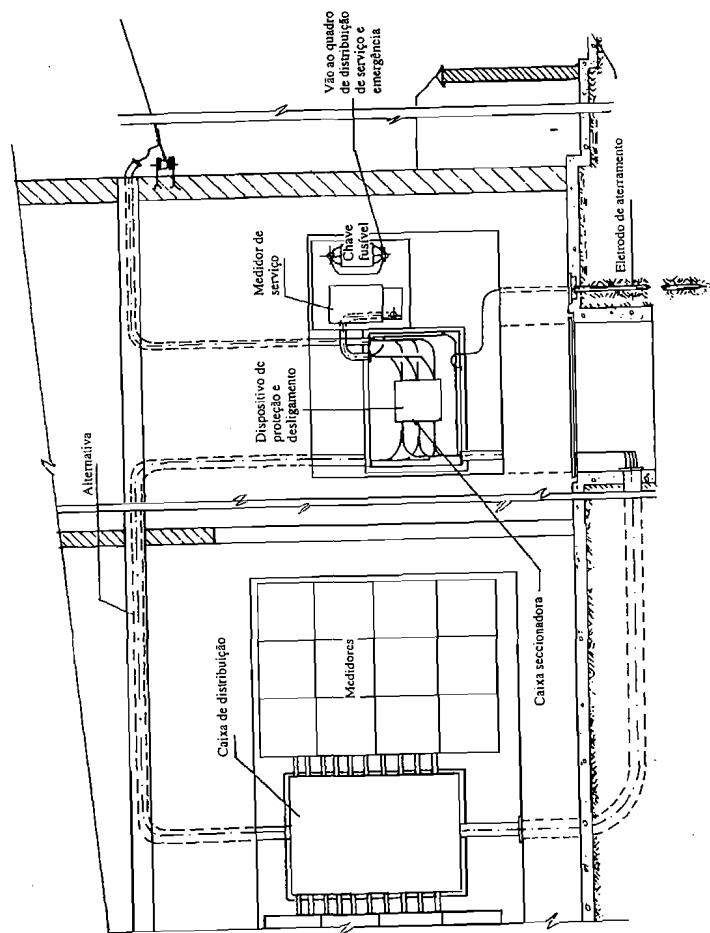


Fig. 14.26 Cabina a mais de 5 metros da porta de entrada. Ligação aérea

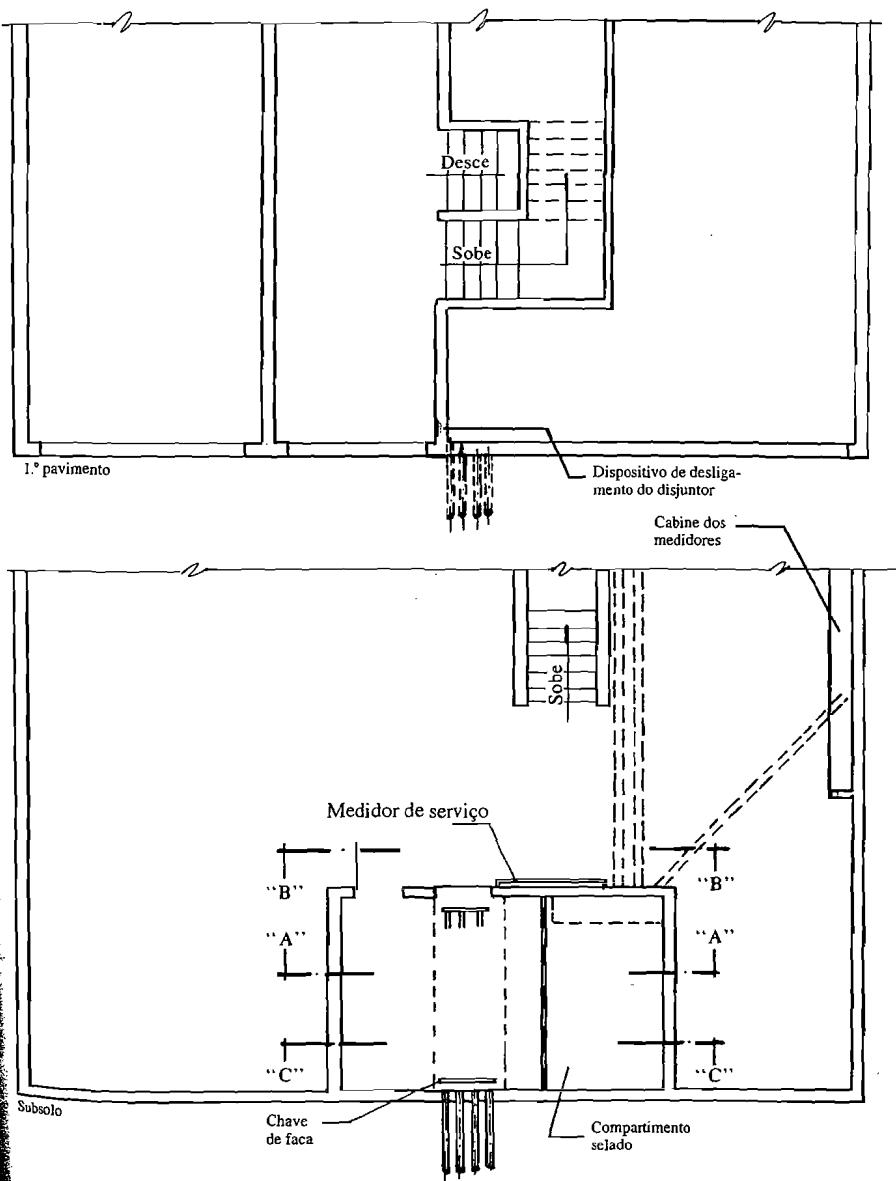


Fig. 14.27 Ligação subterrânea com disjuntor automático

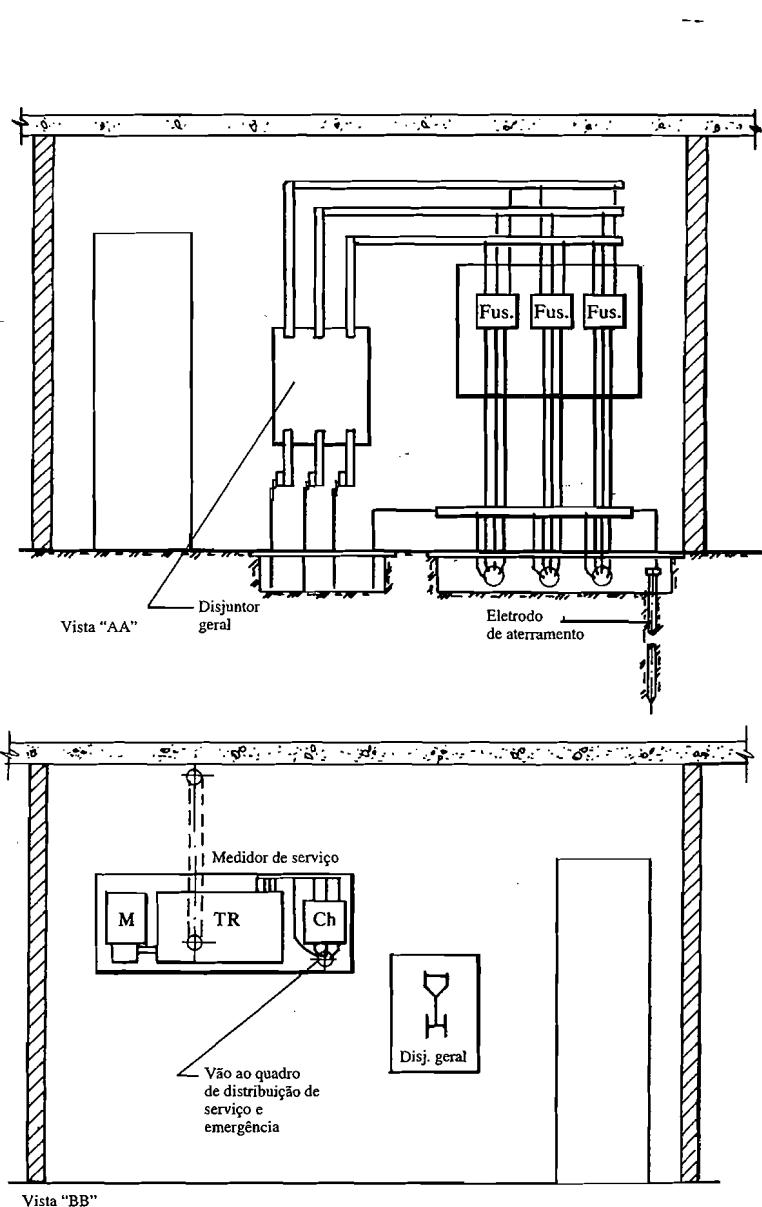


Fig. 14.28 Desenvolvimento das vistas da instalação indicada na Fig. 14.27

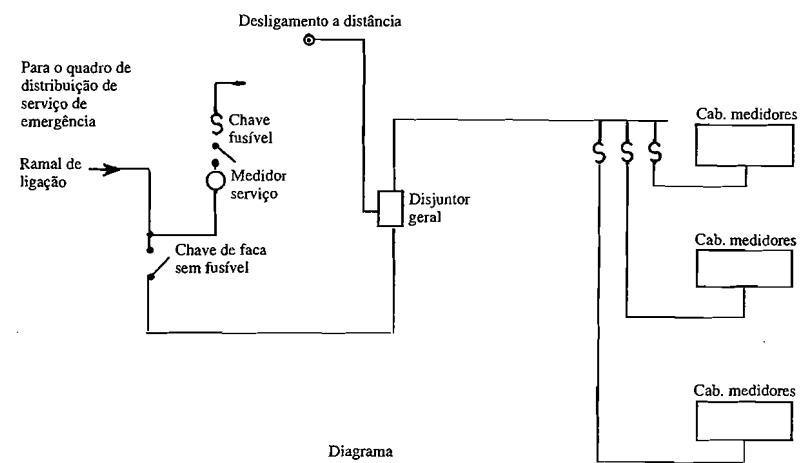
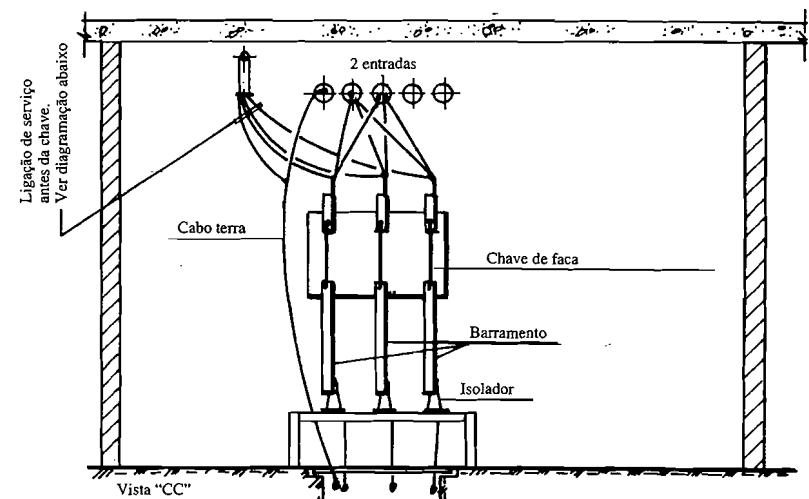


Fig. 14.29 Esquema unifilar representando a entrada de energia e as medições segundo as prescrições do Corpo de Bombeiros

14.5 TABELAS AUXILIARES

As Tabelas 14.6 e 14.9 podem ser utilizadas no dimensionamento de condutores e eletrodutos nos ramais de ligação, e as Tabelas 14.10 e 14.11 indicam os fatores de correção a serem aplicados.

Tabela 14.9 Corrente máxima admissível em condutores de cobre (A)

Seção mm ²	PVC		EPR — XLPE	
	Temp. do condutor — 70°C Temp. ambiente — 30°C		Temp. do condutor — 90°C Temp. do ambiente — 30°C	
	Ao ar livre	1-2 ou 3 condutores por eletroduto	No solo 3 cabos singelos em trifólio p/duto	1-2 ou 3 condutores por eletroduto
6	41	36	45	48
10	57	50	61	66
16	76	68	81	88
25	101	89	105	116
35	125	111	128	144
50	151	134	159	175
70	192	171	193	222
95	232	207	231	268
120	269	239	265	311
150	309	272	304	353
185	353	310	345	402
240	415	364	394	474
300	—	419	445	545
400	—	502	515	652
500	—	578	574	750

Tabela 14.10 Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C a serem aplicados às capacidades de condução de corrente para os cabos PVC 70°C e EPR ou XLPE-90°C

Temperatura ambiente (°C)	Tipo de isolação	
	PVC 70°C	EPR ou XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,07	1,04
30	1,00	1,00
35	0,93	0,98
40	0,87	0,96
45	0,79	0,94
50	0,71	0,92
55	0,61	0,87
60	0,50	0,84
65	—	0,82
70	—	0,80
75	—	0,72
80	—	0,61

Tabela 14.11 Fatores de correção em função do número de eletrodutos enterrados ou embutidos e de sua disposição

Número de eletrodutos dispostos verticalmente	Número de eletrodutos dispostos horizontalmente					
	1	2	3	4	5	6
1	1,00	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,36
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,37

15 Sistemas de Segurança e Centrais de Controle

15.1 EDIFÍCIO INTELIGENTE

15.1.1 VERDADES E MISTIFICAÇÕES

Imaginem que um computador central controle a distância todos os dispositivos da habitação, especifique automaticamente por telefone a manutenção necessária para assegurar todas as funções de vigilância na ausência dos moradores, ou administre os meios de comunicação entre o prédio e o mundo exterior. Há alguns anos, tudo isso pareceria ficção científica, mas hoje é uma bela realidade.

Na opinião dos técnicos e do público em geral, *edifício inteligente* é uma expressão mágica, que estimula a imaginação e faz cada um, a seu modo, supor o que seja.

Ocorre, de início, a indagação: esse edifício "inteligente" opõe-se ao edifício "burro", malprojetoado, canhestro, com espaços perdidos, sem uma infra-estrutura técnica que assegure eficiência e conforto no trabalho? Certamente não é isso. Sempre houve construções bem-concebidas. Voltemos no tempo. Quem visita as catacumbas romanas, construídas há vinte séculos, não se esquece de sua ventilação perfeita, muitos níveis abaixo do solo.

E no passado muitas construções de qualidade foram levantadas e se mostraram satisfatórias a seus ocupantes.

O que mudou? Foi a intensa *informatização*, que permitiu *integrar* os diversos sistemas que compõem as edificações atuais. As construções dos últimos cinqüenta anos não deixaram de ter elevadores automáticos, chaves elétricas sensíveis, bôias que ligam e desligam bombas de recalque d'água sob condições predeterminadas, sistemas elevatórios de águas servidas nos subsolos, aparelhos de iluminação comandados sem ação direta do homem.

Em nossos dias, com a explosão da tecnologia invasora, dominadora da vida social, vêm crescendo assustadoramente o número de processos a serem controlados. Em particular, os edifícios-sede de empresas trazem sempre uma exigência básica: serem tão modernos quanto os congêneres em qualquer parte do mundo. O arquiteto Oscar Niemeyer, em 1960, projetou o edifício da Bloch Editores (Manchete), na Rua do Russell, no Rio de Janeiro, cujas linhas conceituais refletem a mais avançada técnica como local de redações de revistas conhecidas, como também de rádio e televisão.

A partir de 1970, o arquiteto Edison Musa vem implantando em todo o país prédios de muita beleza e tecnologia a mais adequada.

15.1.2 O QUE É EDIFÍCIO INTELIGENTE?

É uma construção concebida para *integrar* as diversas unidades das instalações, a partir de um sistema central, fazendo uso mais completo dos dispositivos de:

- Segurança — pessoas e bens.
- Conforto.
- Economia — consumo de energia, água, esgotos, gás, ar comprimido.

- Comunicação — integração completa em todas as etapas de produção da informação.
- Automação predial.

Supervisão e controle:

- Temperatura.
- Pressão.
- Umidade.
- Hora (tempo).
- Outros dados.

Fomos dos primeiros a alertar sobre a importância do Edifício Inteligente, como se pode observar na entrevista dada ao *Jornal do Comércio* pelo Engº Julio Niskier, no dia 23 de março de 1992:

Prédio inteligente ganha espaço

Cresce, ainda que timidamente, a demanda por "prédios inteligentes" no Brasil. Já se registra entre as empresas de consultoria e projetos em construção civil pedidos, se não para a completa automação dos edifícios, ao menos do lançamento de bases que suponham a instalação futura de sistemas integrados de automação.

A integração, na verdade, destaca um edifício convencional de um inteligente. A automação existe, em algum nível, na maioria dos edifícios, principalmente em elevadores e sistemas anti-incêndio.

Um edifício inteligente, explica o diretor da lcel, Júlio Niskier, não só possui índice de automação próximo de 100%, como comunicação integrada entre os diversos sistemas. Ou seja, sistemas elétricos, hidráulicos e de segurança, por exemplo, funcionariam interdependentemente.

Deste modo, explica Niskier, é possível controlar a demanda de energia elétrica, evitar sobrecargas em horários de pico, programar férias e feriados, bem como elaborar sistemas de manutenção. "Com isso", lembra, "poderíamos esquecer a imagem de desperdício, tão comum nos anos 70, do edifício-sede da Petrobras totalmente aceso durante a noite, quando dizia-se ser mais barato 'não desligá-lo'".

Integrados também estariam os sistemas de alarme, de monitoração, através de circuito fechado de TV e controle de acesso por cartões magnéticos, e portas com células fotoelétricas". "Ou ainda", acrescenta Niskier, "a programação diária para roletas eletrônicas".



Ele confessa que são poucos e altamente selecionados os pedidos de projetos para edifícios inteligentes recebidos pela lcel. Ainda assim, acredita no potencial de otimização dos custos, segurança, comunicação e conforto para a viabilização de um grande número de construções a médio prazo.

Niskier confia num desenvolvimento saudável desse mercado, a partir da divulgação de informações corretas a respeito dos edifícios inteligentes que possibilitem, inclusive, maior nível de exigência na qualidade. Nesse sentido, considera úteis as novas condições delimitadas com a mudança do Código Brasileiro de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, que traz as condições mínimas para o lançamento das bases infra-estruturais para uma futura automatização total dos edifícios.

15.2 SISTEMAS DE ALARME CONTRA ROUBO

São utilizados para proteger portas e janelas contra intrusos. Existe uma grande variedade de tipos que empregam sensores, isto é, contatos de mola ou fitas metálicas delgadas, dispositos de modo tal que a abertura de uma fresta na porta ou janela estabeleça um contato que acione um sinal sonoro (campainha, cigarra ou sirene) ou um sinal luminoso, ou ambos. Para evitar que o intruso corte a energia pelo lado externo do prédio, impedindo o alarme de funcionar, são fabricados equipamentos eletrônicos que operam com pilhas ou baterias.

Em locais onde existem valores, cofres, arquivos, objetos valiosos, jóias etc., dispositivos de alarme de alta eficiência são indispensáveis. Pode vir a ser necessária uma instalação de:

- Sensores constituídos por *células fotoelétricas*, que são acionadas pela passagem de uma pessoa bloqueando os raios enviados de uma fonte emitente a um sensor.
- *Televisão em circuito fechado*, com a câmara focalizando o local a resguardar. Em entradas de garagem de residências ou nos portões de entrada afastados da casa, têm sido colocadas câmaras em posição tal que não possam ser danificadas ou mesmo roubadas. Do interior da moradia, pode-se ver quem é o visitante.

15.3 SISTEMAS DE ALARME CONTRA FOGO, FUMAÇA E GASES

15.3.1 NATUREZA DA QUESTÃO

Todos os dispositivos e instalações contra fogo devem obedecer ao código de segurança contra incêndio e pânico e legislação complementar atualizada.

As instalações de combate a incêndio, além da parte referente à atuação da água sob a forma de jato ou aspergida pulverizada, nebulizada ou formando espuma, e também da atuação de gases como o CO₂, possuem uma outra de muita importância, a cargo das instalações elétricas. Trata-se da detecção e localização do foco de incêndio, tão logo o mesmo irrompa, e do alarme e da atuação nos equipamentos de combate direto ao fogo, circunscrevendo sua ação e debelando-o prontamente.

Convém que edifícios de escritórios, bancos, hotéis, hospitais, indústrias, supermercados e grandes lojas possuam uma central de alarme que, recebendo as informações de sensores distribuídos de modo adequado, emita sinais sonoros e luminosos, indicando em um painel o local onde o incêndio está começando. Ao mesmo tempo, aciona diversos dispositivos de proteção e combate ao incêndio, sistemas de aspersores de água (*sprinklers*) e de inundação com CO₂. Comanda também dispositivos de desligamento de equipamentos como os de ar condicionado e exaustão, impedindo que a fumaça possa ser conduzida pelos dutos a outros locais. Abre janelas e domos nas coberturas para saída da fumaça. Emite avisos sonoros e luminosos para orientação dos ocupantes, a fim de que saibam que providências tomar e por onde evacuar os locais sem pânico e atropelos.

A central automática alerta o zelador e o porteiro, e certos modelos de instalações mais completas informam imediatamente o Corpo de Bombeiros por meio de ligação ao sistema público de alarme de fogo.

Em instalações industriais, é necessário que seja detectada a presença de gases e de fumaças tóxicas, que, embora não representem riscos de incêndio, não devem existir no ambiente acima de dadas concentrações, para que não ocorram danos à saúde e também não venham a poluir a atmosfera exterior.

Em instalações petroquímicas, plataformas marítimas, refinarias e indústrias de derivados de petróleo, a detecção da presença de gases e vapores, que acima de certa concentração podem tornar-se inflamáveis ou explosivos, é de extrema importância. É necessário que sensores de alta sensibilidade e apropriados a cada fluido sejam instalados para detectar, localizar e informar, de modo que automaticamente sejam acionados os sistemas de segurança e de combate às causas que poderiam vir a ensejar o incêndio.

A Fig. 15.1 mostra esquematicamente como a central de alarme de incêndio, recebendo sinais de detectores automáticos ou acionada manualmente, informa o local da ocorrência, faz soar alarme local, aciona o esquema de segurança do prédio e, se necessário, o Corpo de Bombeiros. Além disto, faz operar os equipamentos de proteção contra incêndio e controla os sistemas de ventilação e ar condicionado, desligando-os se a situação o exigir.

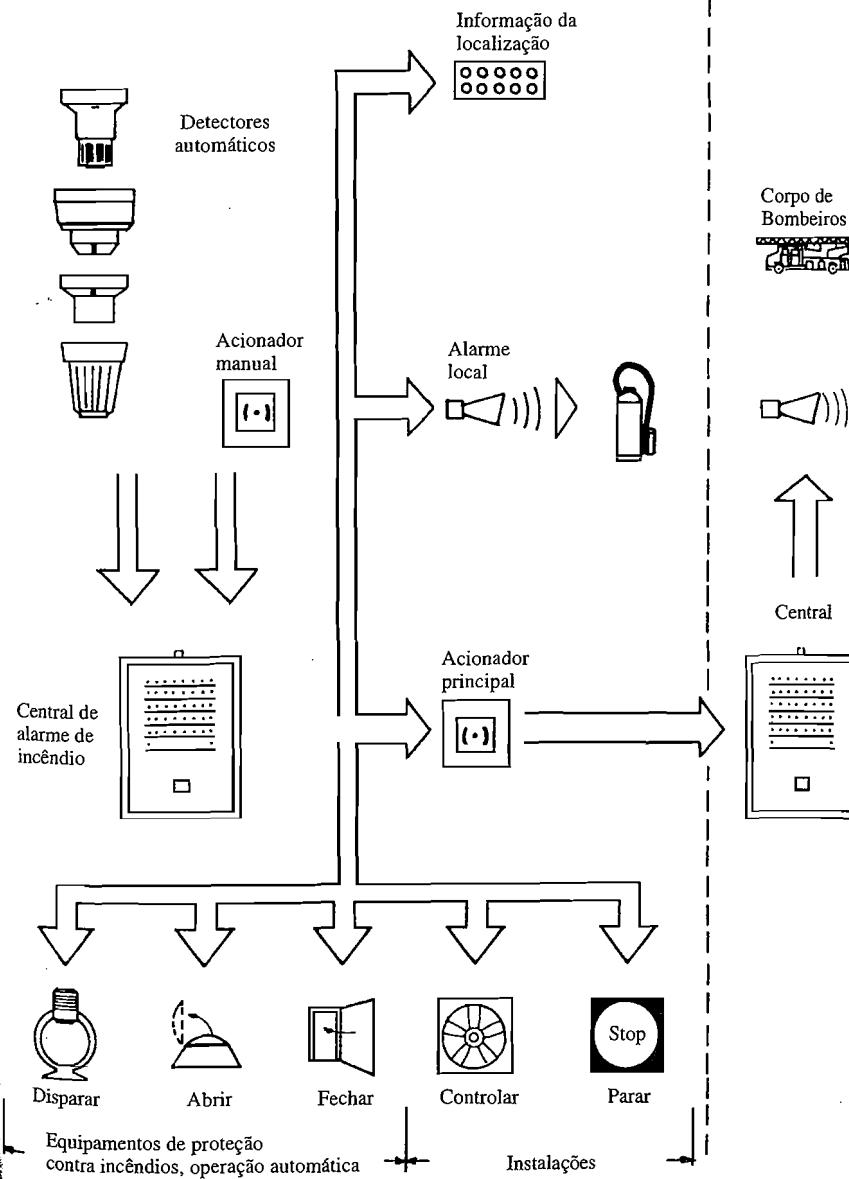


Fig. 15.1 Esquema proposto pelo fabricante para uma instalação de detecção, alarme, proteção e combate a incêndio.

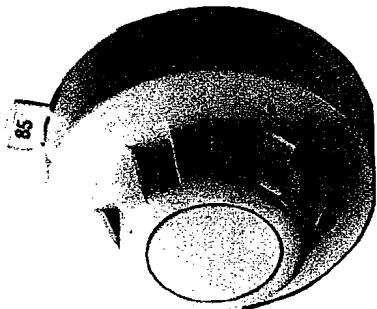


Fig. 15.2 Detector iônico de fumaça XP95, modelo 55500. Fabricante EZALPHA

15.3.2 DETECTORES AUTOMÁTICOS

São dispositivos que, instalados criteriosamente, localizam o foco de incêndio, transmitindo sinais à central de controle. Os tipos principais de detectores são:

- **Detectores de fumaça por ionização.** Possibilitam uma prévia determinação da erupção do fogo muito antes de as chamas se formarem ou a temperatura se tornar muito elevada. Isto porque possuem uma alta sensibilidade a fumaças, visíveis ou não. Exemplos: detector de fumaça XP95, da EZALPHA. Cada detector protege, em média, uma área de 60 a 80 m² (riscos médios) e 15 a 30 m² (riscos elevados). Em locais com teto acima de 8 m, a área é de 80 a 120 m². Em determinados pontos no interior de dutos de ventilação ou ar condicionado, devem ser instalados detectores de fumaça ionizantes ou com base em células fotoelétricas (Fig. 15.2).
- **Detectores termovelocimétricos.** Dão alarme quando o calor produzido por um foco de incêndio atinge um valor máximo dentro de um determinado intervalo de tempo ou uma elevação de 5, 10 ou mesmo 15°C por minuto (Fig. 15.3).
- **Detectores térmicos.** São empregados quando as condições ambientais não permitem a utilização de detectores mais sensíveis (Fig. 15.4). Cada detector térmico ou termovelocimétrico protege em média uma área de 36 m².

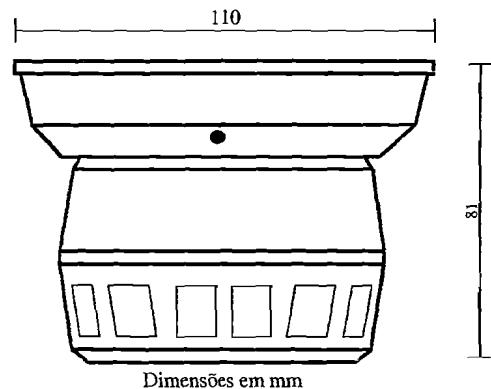


Fig. 15.3 Detector termovelocimétrico BD957, da Siemens

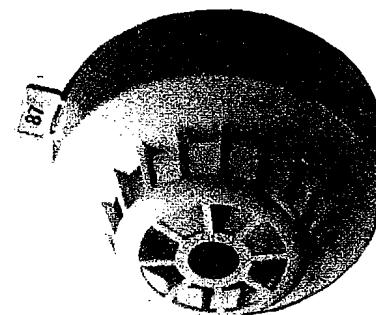


Fig. 15.4 Detector térmico XP95, modelo 55400. Fabricante EZALPHA

Existem ainda detectores de chamas que são utilizados em locais onde a erupção das chamas possa preceder o surgimento de fumaça ou o aumento de temperatura, e os detectores de gases combustíveis, que monitoram permanentemente a atmosfera de gases e vapores inflamáveis, acionando o sistema de alarme quando os níveis de concentração chegam a valores predeterminados.

São muito utilizados os detectores de gás combustível, de sulfeto de hidrogênio (H₂S) e de monóxido de carbono (CO). Às vezes coloca-se um *indicador visual* próximo ao detector, para que as pessoas tomem conhecimento do foco incipiente e seja iniciado o combate efetivo do incêndio antes que ele atinja proporções incontroláveis. A Fig. 15.5 mostra como são ligados os detectores em um laço cujas pontas terminam na central de controle.

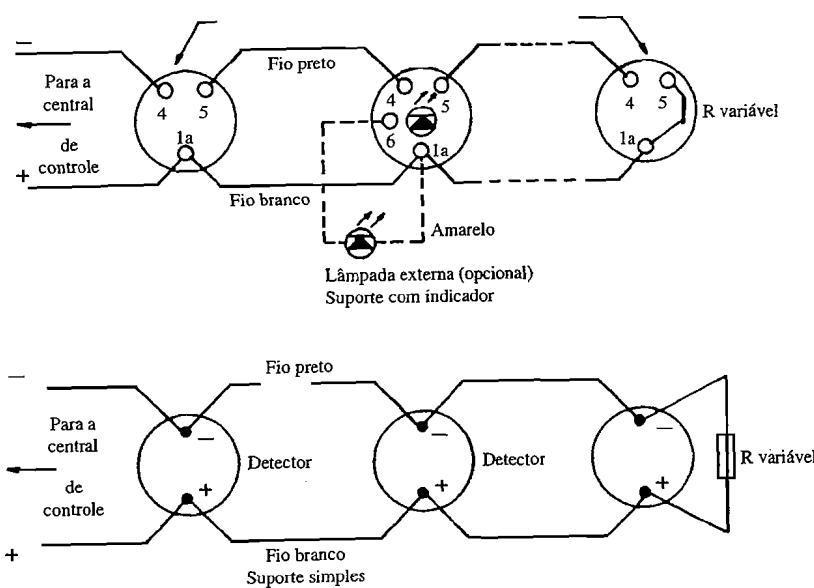


Fig. 15.5 Ligações em CC, em paralelo, de detectores de fumaça e termovelocimétricos, da Siemens

15.3.3 CENTRAL DE CONTROLE DE COMBATE A INCÊNDIO

A central ou o painel de controle serve para processar os sinais transmitidos pelos detectores, sinalizá-los, analisá-los óptica e acusticamente e realizar o supervisãoamento das linhas de detecção ou comando. Aciona diversos sistemas de alarme, de aviso, de combate automático ao incêndio, de aviso ao Corpo de Bombeiros, de desligamento de certos equipamentos, de ligação de bombas de combate a incêndio etc. As centrais eletrônicas mais complexas, envolvendo uma variedade grande de operações de sinalização e controle, além da parte básica essencial de microprocessamento, possuem "módulos", que são uma espécie de gavetas encaixáveis ou unidades *plug-in* (circuitos impressos tipo tomada), cada qual correspondendo a um circuito de detecção (*laço*) com certo número de detectores. Os módulos são projetados para atender aos objetivos que se pretende alcançar com a instalação da central de alarme de incêndio. Os fabricantes fornecem centrais de alarme padronizadas, de diversas capacidades e múltiplas aplicações.

15.3.4 SUPRIMENTO DE ENERGIA

Os sistemas de alarme devem ser abastecidos por duas fontes de energia de operação independentes. Qualquer falha numa das duas fontes de suprimento de energia deve ser indicada por um sinal. Cada uma das fontes deve ser capaz de manter o sistema em funcionamento durante pelo menos 30 horas. Na maioria dos casos os requisitos acima mencionados são preenchidos mediante uma fonte proveniente de uma corrente principal AC, com uma corrente apropriada CC (corrente contínua) para o sistema de detecção. Paralelamente a esta, um segundo suprimento provém de uma bateria de capacidade apropriada, que deve ser carregada pelo abastecimento principal.

Os circuitos funcionam em geral em baixa tensão.

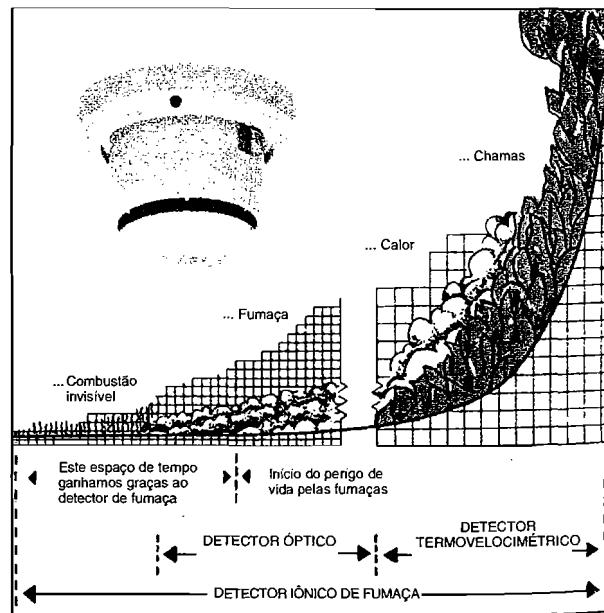


Fig. 15.6 Esquema comparativo dos detectores de proteção de incêndio, da Cerberus

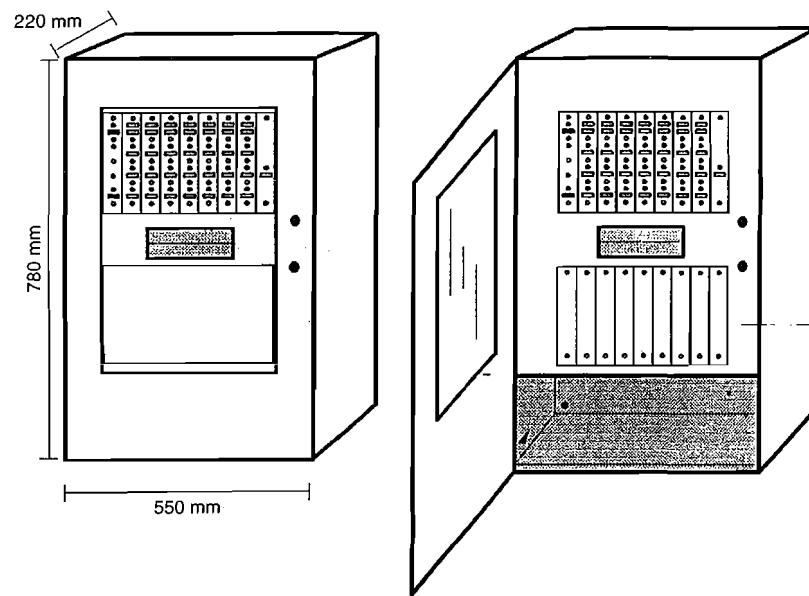


Fig. 15.7 Sistema de segurança central contra incêndio. Modelo SRS-20 C1, da Siemens

15.4 CENTRAL DE SUPERVISÃO E CONTROLE

15.4.1 PRELIMINARES

Os sistemas de instalações em edifícios de escritórios, conjuntos comerciais e residenciais de grande porte, estabelecimentos bancários e centros administrativos cada dia se tornam mais complexos, devido à sua variedade, necessidade de eficiência de atendimento e multiplicidade de equipamentos.

Tempos atrás, nos projetos de instalações havia uma preocupação quase que exclusiva com o fornecimento de energia para que não faltasse luz e para que as bombas e elevadores não deixassem de funcionar.

Bastava que existissem um quadro sinótico das instalações e um competente zelador para resolver a maioria dos problemas que viessem a surgir.

Entretanto, as exigências cada dia maiores de conforto e segurança apelam para os sistemas de ar condicionado, água gelada, água quente, detecção de fogo ou fumaça, alarme e combate a incêndio, intercomunicações, bombeamento, exaustão, elevadores, escadas rolantes e outros mais, e exigem controles e providências que não se pode pensar em conseguir empiricamente com a equipe de manutenção usual. Estas instalações devem operar dentro de limites ou parâmetros predeterminados para cada caso, a fim de que não venham a ocorrer paralisações altamente inconvenientes ou mesmo acidentes graves. Os limites devem ser continuamente "checados", o que exigiria um número muito grande de pessoas para realizar estas tarefas. Quando sobrevém uma paralisação numa instalação, às vezes é trabalhosa a tarefa de descobrir onde ocorreu o defeito, saber qual a causa e que providências tomar. Poder-se-ia pensar numa central de supervisão e controle de operações que, por circuitos especiais, recebesse dados de sensores capazes de

informar sobre a intensidade da corrente, tensão, pressão, temperatura, níveis de água, presença de fumaça ou fogo, falta de energia, nível de monóxido de carbono, umidade, vazões, velocidades de escoamento etc.

Num painel, estes dados poderiam ser traduzidos por sinais luminosos que identificassem a ocorrência e o local da mesma. Esta solução, como se pode perceber, poderia vir a exigir uma fiação imensa, uma vez que de cada ponto a sensorizar sairiam condutores até a central de supervisão. Até recentemente, era a solução adotada, apesar dos inconvenientes com o gasto excessivo em cabos, dutos e mão-de-obra. Ainda é empregada em edifícios não muito grandes e onde as instalações sejam simples e convencionais. Em prédios com os requisitos modernos de conforto e segurança, a solução mencionada quase se torna inviável devido à variedade enorme de centenas e até milhares de informações que devem ser captadas, e que seria quase impossível de serem reduzidas a elementos de um quadro sinótico. A operação e a manutenção de uma central nestas condições exigiriam uma equipe dispendiosa de técnicos especializados, além da incalculável fiação, de custo exorbitante.

Modernamente, pode-se adotar uma tecnologia mais funcional, eficiente e econômica, recorrendo-se a processos e sistemas baseados nos resultados alcançados pela microeletrônica. A Siemens, por exemplo, desenvolveu, especificamente para o caso de instalações prediais, um sistema econômico capaz de proporcionar:

- Supervisão de dados dos sensores dos mais variados tipos.
- Medição analógica das grandezas para avaliação e decisão sobre providências a tomar.
- Controle dos componentes do sistema e de suas operações.
- Comando, para cumprimento das tarefas ou medidas que, de acordo com a programação do microcomputador, devam ser adotadas.

Este sistema centralizado eletrônico permite:

- Informações imediatas e rápidas dos regimes de operação do prédio, pela centralização dos controles e possibilidade de adoção com extrema rapidez de providências que podem ir de um simples reparo a uma evacuação do edifício em caso de emergência.
- Uma maior vida útil da instalação e do próprio prédio, pela constatação imediata dos defeitos, evitando portanto avarias de grande monta nos equipamentos.
- Confiabilidade e otimização na operação dos equipamentos e na utilização do prédio, graças ao bom funcionamento de todos os serviços elétricos, hidráulicos, mecânicos, de comunicação e de segurança.

Apresentaremos a seguir algumas informações sobre o sistema proposto pela Siemens S.A. para o controle de instalações prediais, designado por SAPS.

15.4.2 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL SIEMENS-SAPS

Este sistema, cuja característica principal é a configuração de rede, tem por funções básicas:

- Supervisão de equipamentos com indicação via monitor e impressora de estados e ocorrências. Alarme sonoro em caso de falhas.
- Informações contínuas no monitor dos valores medidos das variáveis analógicas e monitoração de valores limites. A apresentação pode ser em forma de tabelas ou gráficos.
- Comandos automatizados ou manuais, remotos ou locais, de equipamentos elétricos com a correspondente supervisão da ação executada. Possibilidade de realização de tarefas de seqüenciamento e intertravamento normalmente executadas por relés auxiliares instalados em CCM, com correspondente economia.
- Priorização dos equipamentos em função da importância do funcionamento, tempo de atuação, condições de alarme. Programação para execução, tanto remota como local.
- Controle de demanda da instalação, com apresentação de valores no monitor ou na impressora via rede de comunicação.

- Execução de controle P, PI, PID necessários para controle de temperaturas, níveis, vazões, pressões etc., especialmente em ar condicionado e sistema de vapor e água quente.
- Com o uso dos softwares disponíveis, é possível a elaboração das mais variadas telas (imagens, sinóticos, gráficos, textos, zoom).
- O controle pode ser local ou central, em função da prioridade de segurança dos equipamentos operados. A monitoração também pode ser local ou central.
- Programas aplicativos especiais em linguagem de alto nível (Turbo C, Turbo Pascal e STEPS).

Composição do sistema

São disponíveis os seguintes componentes básicos:

- Central de supervisão e controle (SAPS-PC), que tem como tarefa básica reunir e ordenar as informações recebidas, processá-las e executar o gerenciamento de impressão e arquivo. Ela permite a operação de equipamentos por meio do seu teclado.
- Unidade remota controladora (SAPS-MD), que coleta os dados locais, os ordena e transmite para a central, podendo ainda exercer controles locais e transmitir informações a um terminal de vídeo ou impressora local.
- Unidade remota controladora de demanda (SAPS-CD). É usada quando se quer controlar as cargas elétricas em função da demanda contratada. Atua diretamente sobre as cargas, enviando à central as informações preestabelecidas. Opera de forma independente, garantindo a confiabilidade da operação.
- Unidade remota controladora de processos (SAPS-CP). Executa os seqüenciamentos e controle no caso de processos maiores, como os de ar condicionado, caldeira de geração de vapor e água quente ou, ainda, estações de tratamento de efluentes. Também atua de forma independente, recebendo da central apenas comando de mudança de parâmetros, como, por exemplo, de set-points.
- O terminal local (SAPS-TGI), que possibilita ao operador obter as informações localmente e fazer os ajustes e correções dos parâmetros diretamente nas unidades remotas.

Vemos, na Fig. 15.8, uma representação da configuração do sistema SAPS.

15.4.3 DADOS PARA PREPARAÇÃO DE UM PROJETO DE CENTRAL DE ALARME E CONTROLE PREDIAL

A firma que projeta uma instalação desta natureza não é a mesma que fabrica, vende e instala os materiais e equipamentos, pelos quais vem a ficar responsável. Procede à manutenção e tem condições de executar ampliações e acréscimos quando isto se faz necessário.

Deve ser fornecido à firma o projeto de instalações elétricas e hidráulicas, ar condicionado etc., para que possam ser identificados os pontos a sensorizar, os locais para as estações remotas e a central, e as tubulações previstas para as instalações, objeto deste capítulo. A firma especializada poderá indicar a necessidade de outras tubulações e caixas de passagem, que deverão ser colocadas durante a execução de obras de construção civil do prédio.

O autor do projeto de instalações, no memorial descritivo das instalações de segurança e centrais de controle, deverá indicar os pontos de sensores ou equipamentos para os quais deverão ser previstas "entradas" analógicas ou telemétricas nas estações remotas e na central. Também devem ser caracterizadas as "saídas" destas estações ou da central, isto é, deve-se saber quais os equipamentos ou instalações que devem ser telecomandados.

Apenas como referência, indicamos a seguir algumas "entradas" digitais e analógicas mais comuns em um moderno prédio de escritórios, com ar condicionado central, e ou-

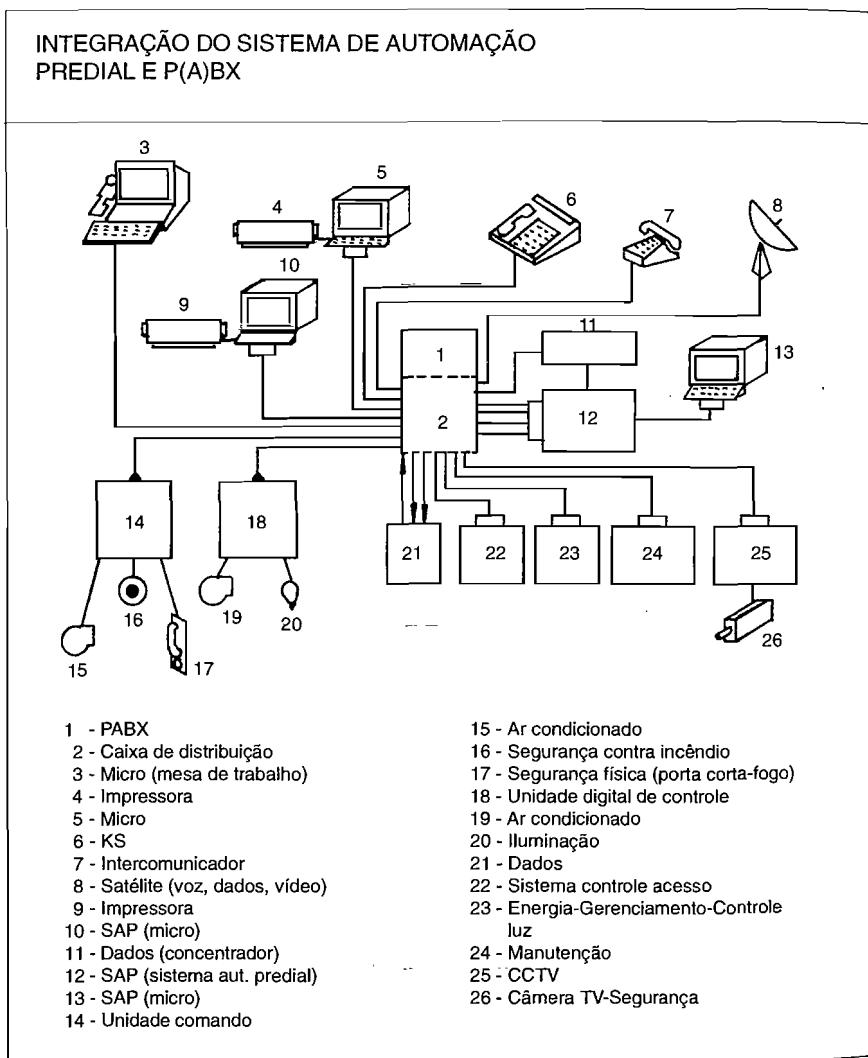


Fig. 15.8 Configuração do sistema SAPS e PABX

tras tantas “saídas” ou comandos “liga-desliga” operados pela central e as estações remotas a ela ligadas.

1 — Entradas digitais

a) Alarme, limites e verificação de estado

- Falta de fase primária com registro gráfico de tempo da interrupção no primário do transformador.
- Falta de energia em cada fase do sistema de emergência (grupo gerador).
- Falta de fase nos alimentadores dos quadros de distribuição.

- Nível do reservatório de água bruta (máximo e mínimo).
- Nível do reservatório de água filtrada (máximo e mínimo).
- Nível de monóxido de carbono no estacionamento do subsolo.
- Nível máximo, para ligação de bomba de poço.
- Alarme de temperatura de óleo e enrolamentos de transformadores.
- Alarme de água escapando pelo extravasos.
- Alarme de evacuação em caso de incêndio.
- Alarme de tensão mínima na central telefônica.
- Alarme de temperatura máxima na central telefônica.
- Alarmes de temperaturas máxima e mínima em salas de computadores.
- Alarme de umidade em sala de computadores.
- Alarme de temperatura máxima e mínima da água gelada.
- Alarme de temperatura máxima de água condensada.
- Alarme do nível máximo do tanque de expansão.
- Alarme do nível mínimo das torres de arrefecimento.
- Alarme de defeito nos compressores.
- Alarme de defeito nas bombas.
- Alarme de nível máximo de vapores inflamáveis na sala do gerador.
- Alarme de temperatura e umidade na sala de controle.

b) Confirmação de telecomando

- Exaustores.
- Bombas de água potável.
- Bombas de águas servidas.
- Bombas de água gelada potável central.
- Bombas do sistema de água central.
- Bombas de ar condicionado da torre de arrefecimento.
- Compressores.
- *Fan coils* dos equipamentos de ar condicionado.
- Iluminação externa.
- Iluminação da fachada.
- Iluminação (um para cada pavimento).

2 — Entradas analógicas (telemetria)

- Tensão de entrada primária da concessionária.
- Tensão secundária em cada um dos transformadores.
- Nível de tensão das baterias do sistema de emergência.
- Temperatura da subestação.
- Temperaturas nos ambientes dos vários andares ou locais escolhidos.

3 — Saídas digitais

Correspondem às operações de telecomando com operação “liga-desliga” de equipamentos, grupos de equipamentos e setores de instalações diversas.

- Comandos de iluminação de cada andar ou de recintos de grande importância.
- Acionamento de emergência das bombas de água potável.
- Acionamento de emergência das bombas de águas servidas.
- Acionamento do disjuntor na linha alimentadora em alta tensão.
- Acionamento de exaustores.
- Acionamento de ventiladores dos conjuntos *fan coils* distribuídos ao longo da instalação de ar condicionado.
- Comando da iluminação externa.
- Comandos da iluminação de cada pavimento.

16 Materiais Empregados e Tecnologia de Aplicação

16.1 INTRODUÇÃO

Em capítulos anteriores, fizemos referência a diversos materiais empregados em instalações elétricas à proporção que o assunto tratado indicava a conveniência de um esclarecimento desta natureza.

Assim é que tratamos dos tipos de fios e cabos, chaves e disjuntores, reproduzindo figuras e tabelas de catálogos de conceituados fabricantes nacionais e estrangeiros.

Existem outros materiais de uso corrente que foram por várias vezes mencionados, mas a cujo respeito não foram apresentados detalhes ou parênteses explicativos, para que não ocorresse descontinuidade na exposição e porque, em alguns casos, as explicações ou exigências de normas a respeito tornariam estas indicações por demais extensas.

O presente capítulo visa a oferecer dados, referências de normas e indicações sobre diversos desses materiais e a tecnologia da utilização dos mesmos, o que parece válido para o atendimento dos objetivos deste livro.

16.2 DEFINIÇÕES GERAIS

16.2.1 ESPAÇO DE CONSTRUÇÃO

Uma das formas mais comuns de instalações de baixa tensão em edifícios é a composta por poços verticais, chamados de "shafts". Esse espaço de construção é o espaço existente na estrutura ou nos componentes de uma edificação, no qual passam os condutores que alimentam as cargas ao longo do prédio, tendo acesso apenas em determinados pontos.

16.2.2 ELETROCALHA

É um elemento de linha elétrica fechada e aparente, com cobertura desmontável, podendo ser liso ou perfurado. Esse termo substitui o termo "calha". "Eletrocalha" é usualmente empregada para designar a "bandeja" (que seria, então, uma "eletrocalha sem tampa").

16.2.3 CANALETA

É um elemento construído ou instalado abaixo ou acima do solo, ventilado ou fechado, e no qual não cabe uma pessoa. É usual, também, utilizar o termo "canaleta" para se referir a eletrocalhas sobre paredes, em tetos ou suspensas.

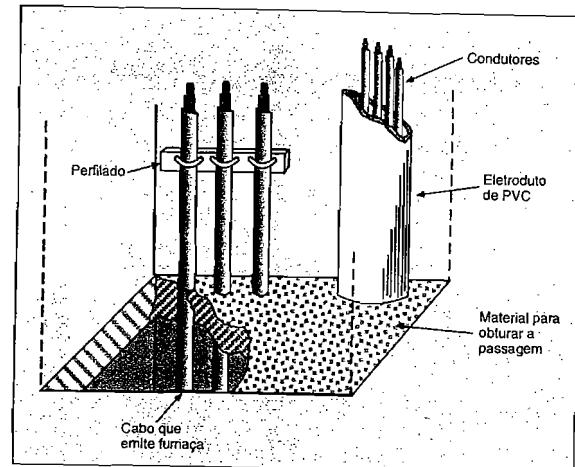


Fig. 16.1 Obturação de poços para impedir a propagação de incêndio

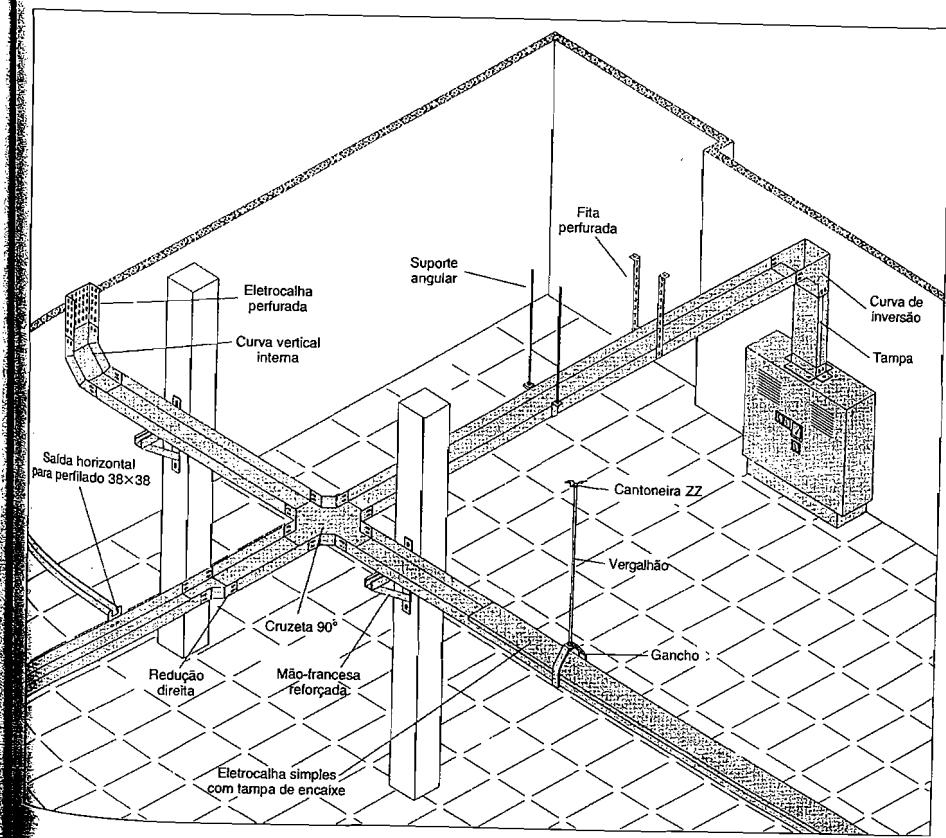


Fig. 16.2 Eletrocalhas. Fabricante MOPA

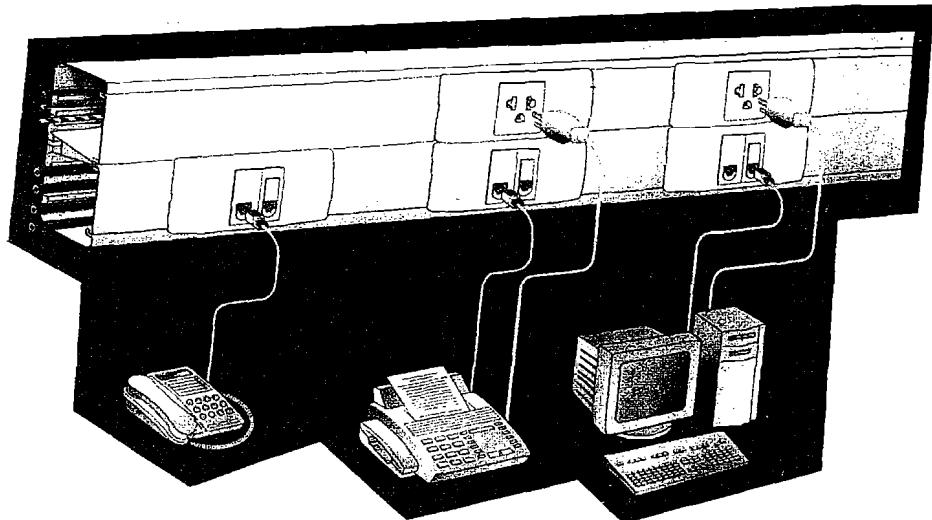


Fig. 16.3 Canaleta DLP, solução para instalações aparentes. Fabricante Pial-Legrand

16.2.4 BANDEJA

Possui uma base contínua, com abas e sem tampa, podendo ser ou não perfurada.

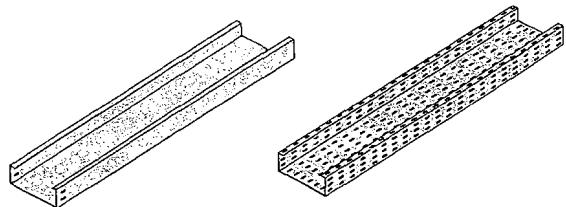


Fig. 16.4 Bandeja não-perfurada e bandeja perfurada. Fabricante MOPA

16.2.5 PERFILADO

Eletrocalha ou bandeja de dimensões reduzidas.

16.2.6 LEITO

É um suporte formado por travessas ligadas a duas longarinas longitudinais, sem
bertura. É também conhecido como "escada para cabos".

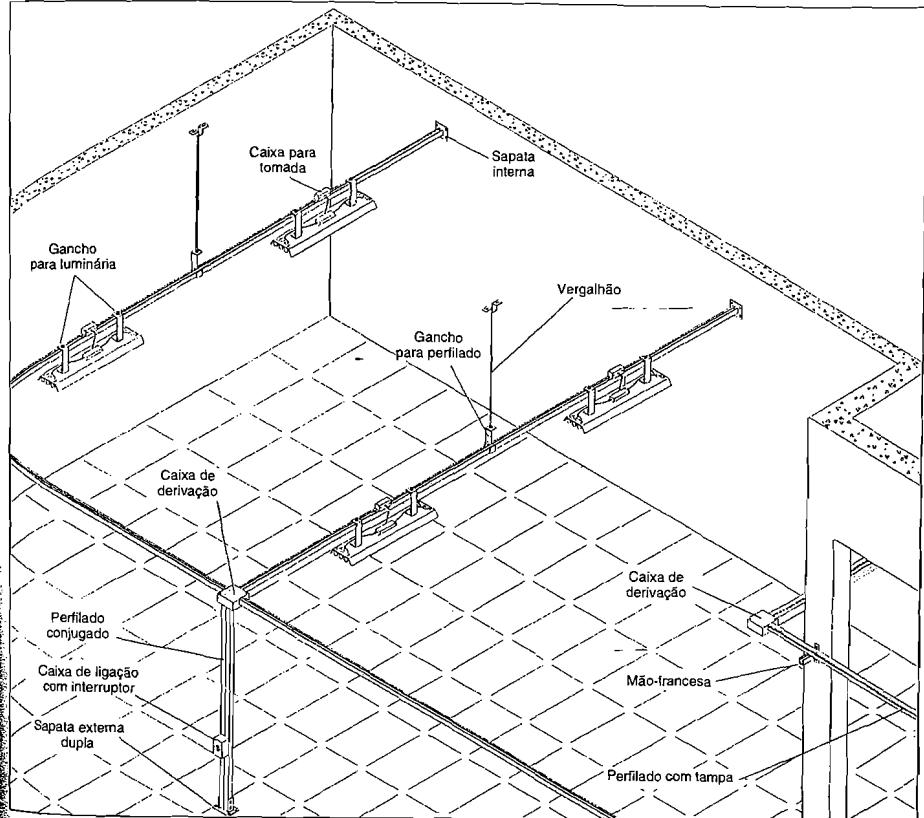


Fig. 16.5 Perfilados. Fabricante MOPA

16.2.7 PRATELEIRA

Possui uma base contínua, engastada ou fixada por um de seus lados e com a outra borda livre.

16.3 CONDUTOS

Condutos são canalizações ou dispositivos destinados a conter condutores elétricos. Podemos dividir os condutos em:

- a) Eletrodutos.
- b) Dutos.
- c) Calhas e canaletas (condutos fechados ou abertos).
- d) Bandejas ou leitos de cabos (condutos abertos).
- e) Molduras, rodapés e alizares.

Estabelece-se que "todos os condutores vivos do mesmo circuito, inclusive o neutro (se existir), devem ser agrupados no mesmo conduto" (Norma NBR 5.410/90). A Nor-

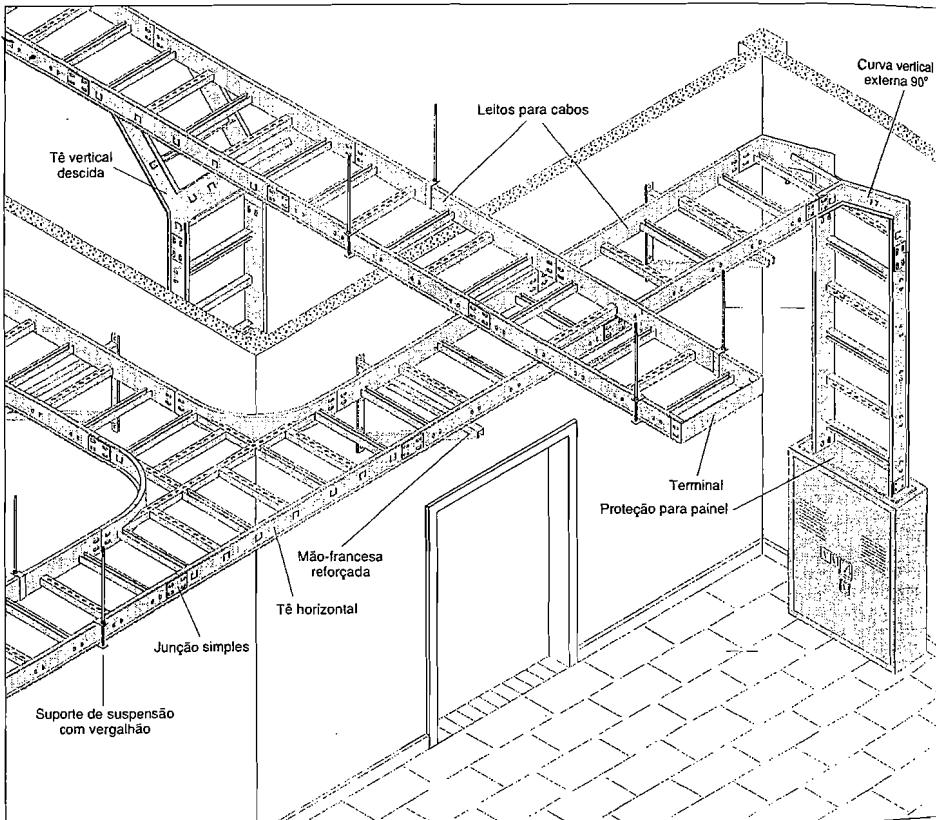


Fig. 16.6 Leito para cabos. Fabricante MOPA

ma NBR 5.410/97 confirma este conceito e exige que os eletrodutos ou calhas contenham apenas condutores de um único circuito, *exceto* nestes dois casos:

- Quando as quatro condições que se seguem forem simultaneamente atendidas:
 - Todos os condutores sejam isolados para a mesma tensão nominal.
 - Todos os circuitos se originem de um mesmo dispositivo geral de comando e proteção, sem a interposição de equipamentos que transformem a corrente elétrica (transformadores, conversores, retificadores etc.).
 - As seções dos condutores-fase estejam dentro de um intervalo de três valores normalizados sucessivos (por exemplo, pode-se admitir que os condutores-fase tenham seções de 4 mm², 6 mm² e 10 mm²).
 - Cada circuito seja protegido separadamente contra as sobrecorrentes.
- Quando os diferentes circuitos alimentarem um mesmo equipamento, desde que todos os condutores sejam isolados para a mesma tensão nominal e que cada circuito seja protegido separadamente contra as sobrecorrentes. Isto se aplica principalmente aos circuitos de alimentação, de telecomando, de sinalização, de controle e/ou de medição de um equipamento controlado a distância.

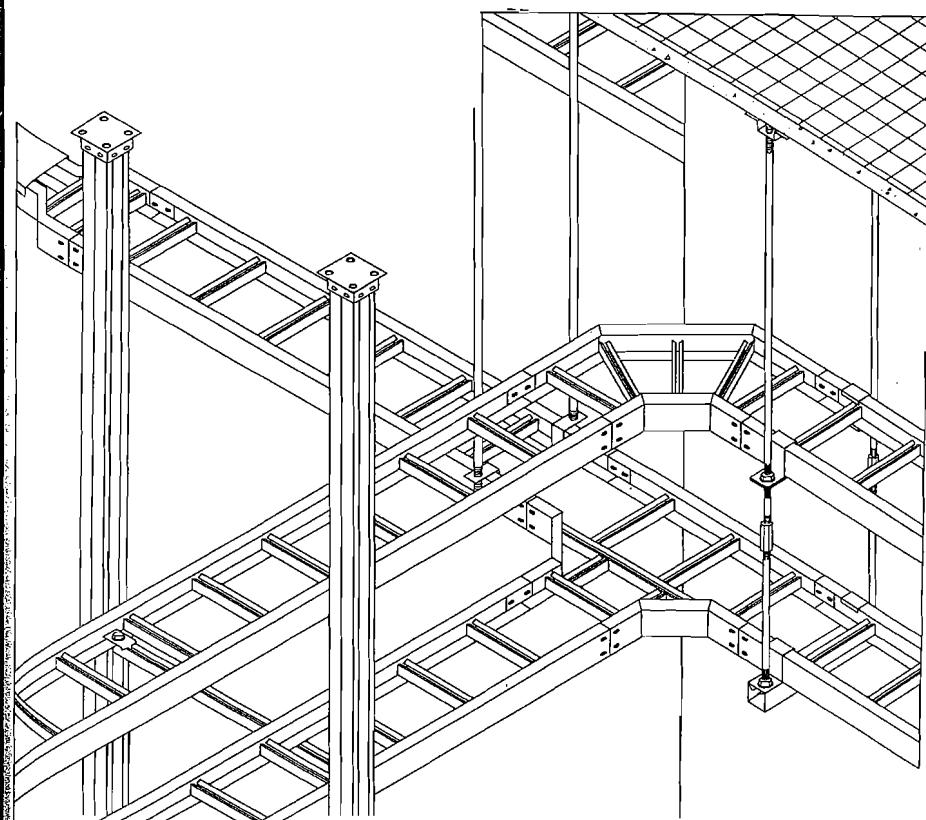


Fig. 16.7 Sistema modulado de distribuição com prateleiras para cabos elétricos

16.3.1 ELETRODUTOS

São tubos destinados à colocação e à proteção de condutores elétricos.

16.3.1.1 Finalidades

Os eletrodutos têm por finalidade:

- Proteger os condutores contra ações mecânicas e contra corrosão.
- Proteger o meio ambiente contra perigos de incêndio, provenientes do superaquecimento ou da formação de arcos por curto-circuito.
- Constituir um envoltório metálico aterrado para os condutores (no caso de eletroducto metálico), o que evita perigos de choque elétrico.
- Funcionar como condutor de proteção, proporcionando um percurso para a terra (no caso de eletrodutos metálicos).

16.3.1.2 Classificação

Os eletrodutos podem ser:

- Rígidos.
- Flexíveis.

16.3.1.3 Material

Quanto ao material de que são constituídos os eletrodutos rígidos, dividem-se em eletrodutos de:

- Aço-carbono.
- Alumínio (usado nos Estados Unidos).
- PVC.
- Plástico com fibra de vidro.
- Polipropileno.
- Polietileno de alta densidade.

16.3.1.4 Proteção contra Corrosão

Quanto à proteção dos eletrodutos de aço contra corrosão, a mesma pode ser constituída por:

- Cobertura de esmalte a quente.
- Galvanização ou banho de zinco a quente.
- Cobertura externa de composto asfáltico ou plástico.
- Proteção interna e/ou externa adicional de tinta epóxica.

16.3.1.5 Modalidades de Instalação e Tipos Usados

Os eletrodutos podem ser instalados:

- Em lajes e alvenaria: eletrodutos rígidos metálicos ou de plásticos rígidos.
- Enterrados no solo: eletrodutos rígidos não-metálicos ou de aço galvanizado.
- Enterrados, porém embutidos em lastro de concreto: eletrodutos rígidos não-metálicos ou metálicos galvanizados ou revestidos de epóxi.
- Aparentes, fixados por braçadeiras a tetos, paredes ou elementos estruturais: eletrodutos rígidos metálicos ou de PVC rígido.
- Aparentes, em prateleiras ou suportes tipo "mão-francesa": rígidos metálicos e de PVC.
- Aparentes, em locais onde a atmosfera contiver gases ou vapores agressivos: PVCs rígidos, como, por exemplo, os eletrodutos Tigre da Cia. Hansen Industrial, ou metálicos com pintura epóxica.
- Ligação de ramais de motores e equipamentos sujeitos a vibrações: eletrodutos flexíveis metálicos (*conduites*) formados por uma fita enrolada em hélice. Podem ser revestidos por uma camada protetora de material plástico quando se teme a agressividade de agentes poluentes ou líquidos agressivos.

16.3.2 ELETRODUTOS RÍGIDOS

Os eletrodutos rígidos são vendidos em varas de 3 m de comprimento, rosqueadas nas extremidades e com uma luva em uma das extremidades. São fabricadas nos seguintes tipos:

- Eletroduto rígido de aço galvanizado para alta tensão. Fabricante Apolo.
 - Eletroduto de PVC rígido antichama, classe B. Fabricante Tigre.
 - Eletroduto rígido de aço-carbono, séries pesado e extra, de acordo com a NBR 5.597/95.
 - Eletroduto rígido de PVC, tipo rosqueável, de acordo com a NBR 6.150/80.
- As tabelas a seguir apresentam dimensões dos eletrodutos rígidos de várias especificações quanto a espessura e peso.

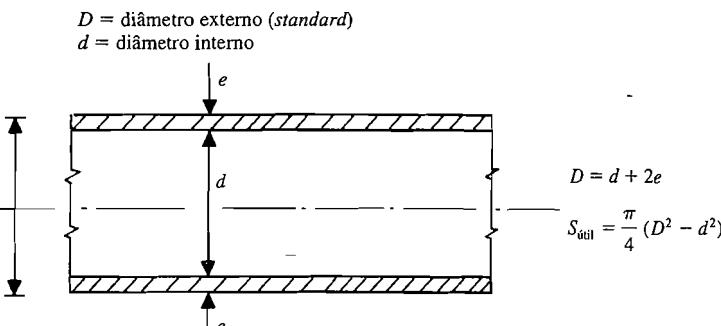


Fig. 16.8 Diâmetros a considerar em um eletroduto

Tabela 16.1 Eletrodutos rígidos de aço galvanizado para alta e baixa tensões. Fabricante Apolo

Tamanho nominal	Galvanizados atendem às normas NBR 5.598 (EB-342) e NBR 5.597 (EB-341)		
	Diâmetro externo (mm) × Espessura da parede (mm)	Peso EB-342 kg/vara	Peso EB-341 kg/vara
15	1/2	21,30 × 2,25	3,42
20	3/4	26,70 × 2,25	4,40
25	1	33,40 × 2,65	6,46
32	1 1/4	42,20 × 2,65	8,35
40	1 1/2	48,00 × 3,00	10,71
50	2	59,90 × 3,00	13,61
65	2 1/2	75,50 × 3,35	19,12
80	3	88,20 × 3,35	22,48
100	4	113,35 × 3,75	33,02

16.3.3 NÚMERO DE CONDUTORES EM UM ELETRODUTO

No interior de eletrodutos rígidos são permitidos apenas condutores e cabos isolados, não sendo permitida a utilização de condutores à prova de tempo WP e cordões flexíveis.

Na Tabela 16.5 estão discriminadas as áreas dos eletrodutos rígidos de aço-carbono, tipo pesado, permissíveis para utilização pelos condutores.

Exemplo 16.1

Qual deverá ser o diâmetro do eletroduto para conter nove cabos unipolares de cobre de 1,5 mm² de seção nominal, com isolamento de PVC, Pirastic Antiflam 450/750 V da Pirelli?

Solução

Na Tabela 4.20, da Pirelli, vemos que o cabo referido tem um diâmetro externo nominal de 3,0 mm. Os nove cabos ocuparão uma área de

Tabela 16.2 Eletrodutos de PVC rígidos antichama classe B. Fabricante Tigre

Referência de rosca	Diâmetro nominal	Dimensões			S* (aprox.) mm ²
		Di (aprox.) mm	e mm	L mm	
3/8	16	12,8	1,8	3.000	128,7
1/2	20	16,4	2,2	3.000	211,2
3/4	25	21,3	2,3	3.000	356,3
1	32	27,5	2,7	3.000	593,9
1 1/4	40	36,1	2,9	3.000	1.023,5
1 1/2	50	41,4	3,0	3.000	1.346,1
2	60	52,8	3,1	3.000	2.189,6
2 1/2	75	67,1	3,8	3.000	3.536,2
3	85	79,6	4,0	3.000	4.976,4
Não previsto pela EB-744					
4	110	103,1	5,0	3.000	8.348,5

Tabela 16.3 Eletrodutos rígidos de aço-carbono (NBR 5.597/95)

Tamanho nominal (mm)	Diâmetro externo (mm)	Espessura de parede (mm)	Massa* teórica (kg/m)
10	17,1	2,00	0,72
15	21,3	2,25	0,96
20	26,7	2,25	1,31
25	33,4	2,65	1,97
32	42,2	3,00	2,85
40	48,3	3,00	3,31
50	60,3	3,35	4,66
65	73,0	3,75	6,26
80	88,9	3,75	7,71
90	101,6	4,25	10,04
100	114,3	4,25	11,34
125	141,3	5,00	16,61
150	168,3	5,30	21,04

*Massa sem luva e sem revestimento protetor.

Tabela 16.4 Eletrodutos de PVC rígido, tipo rosqueável (NBR 6.150/80)

Diâmetro nominal DN (mm)	Referências de rosca NBR 6.414 (Ref.)	Diâmetro externo de e (mm)	Afastamentos ± 8 (mm)	Espessura da parede + 0,4 - 0 (mm)	Classe A		Classe B*	
					Massa aprov. por metro (kg/m)	Espessura da parede e (mm)	Massa aprov. por metro M (kg/m)	Espessura da parede e (mm)
16	3/8	16,7	± 0,3	+ 0,4	0,140	2,0	1,8	0,120
20	1/2	21,1	± 0,3	+ 0,4	0,220	2,5	1,8	0,150
25	3/4	26,2	± 0,3	+ 0,4	0,280	2,6	2,3	0,240
32	1	33,2	± 0,3	+ 0,4	0,450	3,2	2,7	0,400
40	1 1/4	42,2	± 0,3	+ 0,5	0,650	3,6	2,9	0,540
50	1 1/2	47,8	± 0,4	+ 0,5	0,820	4,0	3,0	0,660
60	2	59,4	± 0,4	+ 0,5	1,170	4,6	3,1	0,860
75	2 1/2	75,1	± 0,4	+ 0,5	1,750	5,5	3,8	1,200
85	3	88,0	± 0,4	+ 0,6	2,300	6,2	4,0	1,500

*A classe B é usualmente a mais encontrada nas construções.

Tabela 16.5 Áreas dos eletrodutos rígidos de aço-carbono, tipo pesado, permissíveis para utilização pelos condutores, segundo critério da NBR 5.410/90

Dimensão do eletrodo		Cabos sem cobertura de chumbo		
Diâmetro nominal		Área útil (mm ²)	1 cabo 53%	2 cabos 31%
pol.	mm		3 cabos ou mais 40%	
3/8	17	134,7	71	41
1/2	21	221,6	117	68
3/4	27	386,9	205	119
1	33	619,8	328	192
1 1/4	42	1.028,7	545	318
1 1/2	48	1.404,6	744	435
2	60	2.255,3	1.195	699
2 1/2	73	3.367,8	1.784	1.044
3	89	5.201,4	2.756	1.612
4	102	6.804,1	3.606	2.109
				2.721

$$9 \times \left(\frac{\pi \times 3^2}{4} \right) = 63,6 \text{ mm}^2$$

Como são nove os cabos, a seção útil de que pode ser ocupada é de 40% (Tabela 16.5), de modo que a seção deverá ser no mínimo de

$$(63,6 \times 100) \div 40 = 159 \text{ mm}^2$$

Vemos na Tabela 16.5 que o eletrodo de aço-carbono, tipo pesado, com diâmetro nominal de 21 mm, tem uma área útil de 221,6 mm² e, portanto, $0,40 \times 221 = 88 \text{ mm}^2$ de área que pode ser ocupada pelos cabos. O de 17 mm de diâmetro nominal seria insuficiente, pois a área útil é de 134,7 mm², e necessitamos de 159 mm². Verifica-se, no entanto, que para chegarmos a este resultado bastaria consultar a Tabela 16.5, na coluna de 3 cabos ou mais 40%, e chegaríamos a 88 mm² de ocupação.

■ Exemplo 16.2

Num mesmo eletrodo devem passar cabos unipolares de Sintenax Antiflam Pirelli, sendo 6 de seção nominal de 4 mm² (diâmetro externo máximo com isolamento = 6,9 mm); 6 de seção nominal de 6 mm² (diâmetro externo máximo com isolamento = 7,3 mm). Qual deverá ser o diâmetro do eletrodo?

Solução

Seção dos cabos:

$$6 \times \left(\frac{\pi \times 6,9^2}{4} \right) = 224,35 \text{ mm}^2$$

$$6 \times \left(\frac{\pi \times 7,3^2}{4} \right) = 251,12 \text{ mm}^2$$

Seção total = 475,47 mm².

Como são mais de três cabos, a área ocupada pelos cabos deverá ser, no máximo, 40% da seção do eletrodo. Logo, a seção do eletrodo será:

$$(475,47 \times 100) \div 40 = 1.189 \text{ mm}^2$$

Na Tabela 16.5 vemos que para esta área total teremos que usar um eletrodo pesado de 48 mm (1 ½") de diâmetro nominal.

A Tabela 4.20 apresenta as dimensões totais de condutores isolados Pirelli dos tipos Pirastic Antiflam e Pirastic-Flex Antiflam.

16.3.4 ACESSÓRIOS DOS ELETRODUTOS METÁLICOS

Os eletrodutos interligam caixas de derivação, das quais voltaremos a tratar neste capítulo. Para emendar os tubos, mudar a direção e fixá-los às caixas, são empregados os acessórios descritos a seguir:

- **Luvas.** São peças cilíndricas rosqueadas internamente com rosca paralela, usadas para unir dois trechos de tubo, ou um tubo a uma curva. Quando se requer estanqueidade, usam-se luvas com rosca côncava BSP (British Standards Pipe) ou NPT (National Pipe Threads).

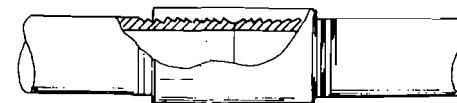


Fig. 16.9 Colocação de luva, mostrando que as pontas dos dois eletrodutos devem se ajustar

- **Buchas.** São peças de arremate das extremidades dos eletrodutos rígidos, destinadas a impedir que, ao serem puxados os condutores durante a enfiamento, a isoliação seja danificada por eventuais rebarbas na ponta do eletrodo. Ficam na parte interna das caixas (Fig. 16.10).

- **Porcas.** São arruelas rosqueadas internamente e que, colocadas externamente às caixas, completam, com as buchas, a fixação do eletrodo à parede da mesma (Figs. 16.11 e 16.12).

- **Curvas.** Para diâmetros de 1/2", 3/4" e 1", pode-se curvar o eletrodo metálico a frio em ângulo de deflexão menor que 90° e com o cuidado para que o trecho curvo não fique inaceitavelmente amassado. Para diâmetros maiores que 1", devem-se usar curvas pré-fabricadas, embora em instalações aparentes se usem também estas curvas nos diâmetros menores.

Para raios de curvatura bastante grandes, podem-se curvar tubos de diâmetro maior que 1".

Não são permitidos trechos de tubulação entre caixas ou equipamentos com comprimentos maiores que 15 m.

Quando se colocam curvas, este espaçamento fica reduzido de 3 m para dada curva de 90°.

Exemplo 16.3

Qual o comprimento que poderá ter um trecho de tubulação contendo duas curvas de 90°?

Tabela 16.6 Seção e diâmetros de fios Pirastic. Fabricante Pirelli

Seção do condutor tipo fio Pirastic Antiflam 750 V	Diâmetro	Seção do condutor com instalação
0,5 mm ²	2,1 mm	3,46 mm ²
0,75 mm ²	2,2 mm	3,80 mm ²
1 mm ²	2,4 mm	4,52 mm ²
1,5 mm ²	2,8 mm	6,15 mm ²
2,5 mm ²	3,4 mm	9,07 mm ²
4 mm ²	3,9 mm	11,94 mm ²
6 mm ²	4,4 mm	15,20 mm ²
10 mm ²	5,6 mm	24,62 mm ²
16 mm ²	6,5 mm	33,17 mm ²
25 mm ²	8,5 mm	56,72 mm ²
35 mm ²	9,5 mm	70,85 mm ²
50 mm ²	11,5 mm	103,82 mm ²
70 mm ²	13,0 mm	132,67 mm ²
95 mm ²	15,0 mm	176,63 mm ²
120 mm ²	16,5 mm	213,72 mm ²
150 mm ²	18,5 mm	268,67 mm ²
185 mm ²	20,5 mm	329,90 mm ²
240 mm ²	23,5 mm	433,52 mm ²
300 mm ²	26,0 mm	530,66 mm ²



Fig. 16.10 Buchas para eletrodutos. Fabricante Wetzel

Solução

Cada curva reduz 3 metros. Portanto, teremos $15 - (2 \times 3) = 9$ metros. Quando o ramal de eletroduto passar obrigatoriamente através de áreas inacessíveis, impedindo assim o emprego de caixas de derivação, a distância pode ser aumentada, desde que se proceda da seguinte forma:

- Calcula-se a distância máxima permitível (levando-se em conta o número de curvas de 90° necessárias).
- Para cada 6,00 m ou fração de aumento nesta distância, utiliza-se um eletroduto de diâmetro ou tamanho nominal imediatamente superior ao do eletroduto que normalmente seria empregado para o número e o tipo dos condutores.
- O número máximo de curvas entre duas caixas é 3.

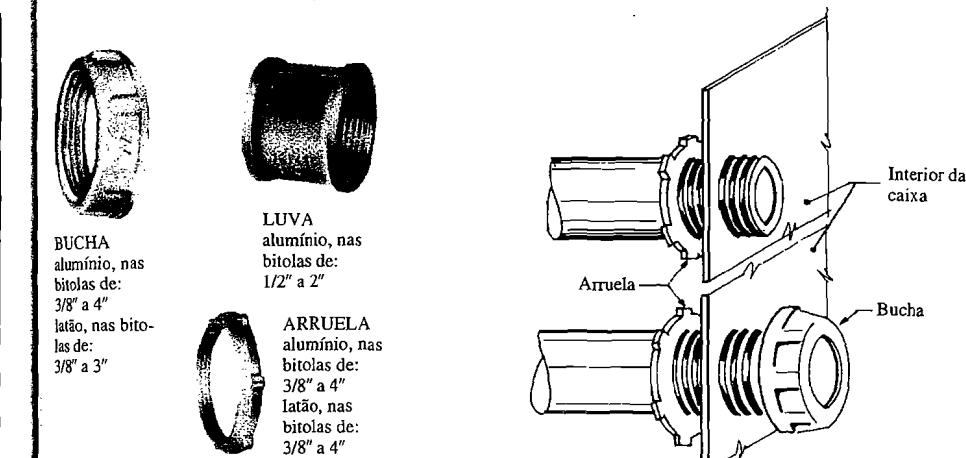


Fig. 16.11 Bucha, luva e arruela. Fabricante Wetzel

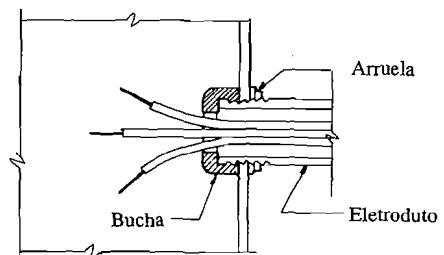


Fig. 16.12 Fixação de eletroduto com bucha e arruela. O aperto final deve ser dado com a arruela (contraporca)

Exemplo 16.4

A Fig. 16.13 mostra um ramal de tubulação de 22,2 m entre duas caixas A e B, no qual não há acessibilidade para a colocação de caixas intermediárias. O diâmetro nominal calculado para o eletroduto sem curvas é de 1". Dimensionar o trecho AB, levando em conta que no mesmo serão necessárias três curvas de 90°.

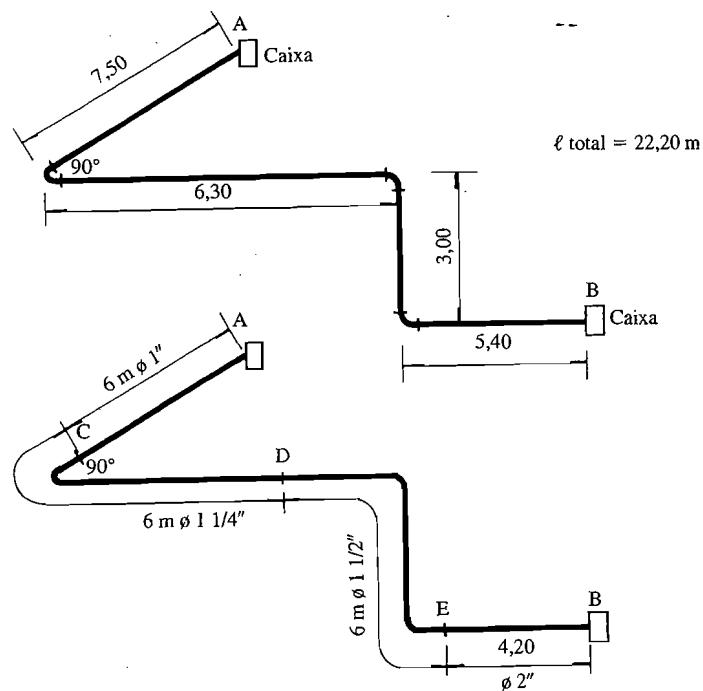
Solução

- Comprimento total = 22,2 m
Número de curvas: 3
Distância máxima permitida, considerando as três curvas:

$$15 - 3 (3) = 6 \text{ m}$$

Mas o comprimento total é de 22 m, de modo que teremos, para a distância calculada:

$$22 - 6 = 16 \text{ metros.}$$



Haverá $16 \div 6 = 2,66$ "aumentos" de 6 metros:

Trecho AC = 6 m ø 33 mm (1")
 CD = 6 m ø 42 mm (1 1/4")
 DE = 6 m ø 48 mm (1 1/2")
 EB = 4,2 m ø 60 mm (2")

16.3.5 CONEXÕES NÃO-ROSQUEADAS

Existem luvas, curvas e buchas que dispensam o rosqueamento do eletroduto para sua adaptação. Há dois tipos principais:

- As peças possuem parafusos para aperto contra o eletroduto. Para sua instalação, bastam chave de fenda e arco de serra. Ex.: Conexões Unidut da Daisa, de liga de alumínio com 9 a 13% de silício, em bitolas de 1/2" a 6".
- As peças adaptam-se por encaixe e pressão. Ver Fig. 16.14.

16.3.6 ELETRODUTOS METÁLICOS FLEXÍVEIS

Também designados por conduítes, estes eletrodutos não podem ser embutidos nem utilizados nas partes externas das edificações, em localizações perigosas e de qualquer forma expostos ao tempo. Devem constituir trechos contínuos, não devendo ser emanados por luvas ou soldas. Necessitam ser firmemente fixados por abraçadeiras a, no

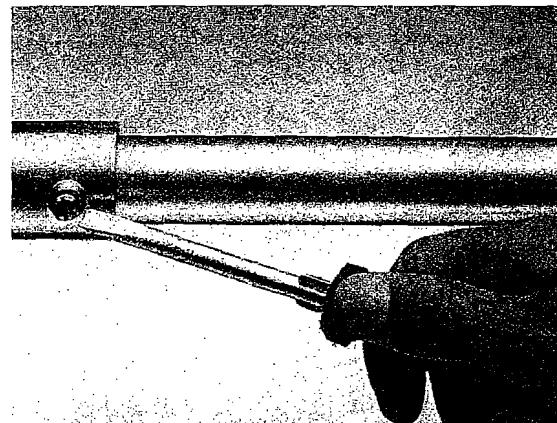


Fig. 16.14 Conexão com parafuso em vez de rosca. Fabricante Daisa

máximo, cada 1,30 m e a uma distância de, no máximo, 30 cm de cada caixa de passagem ou equipamento. Em geral são empregados na instalação de motores ou de outros aparelhos sujeitos à vibração ou que tenham necessidade de ser deslocados de pequenos percursos ou em ligações de quadros de circuitos.

Para se fixar um conduíte em um eletroduto, usa-se o *boxe reto interno* (Fig. 16.15a), e para fixá-lo a uma caixa, usa-se o *boxe reto externo* (Fig. 16.15b) ou *boxe curvo* (Fig. 16.15c).

Os conduítes flexíveis podem ser curvados, mas o raio deverá ser maior que 12 vezes o diâmetro externo dos mesmos.

Os conduítes, como os eletrodutos rígidos, podem ser fixados a paredes, tetos ou outros elementos estruturais por meio de *abraçadeiras*.

Na Fig. 16.16 vemos as abraçadeiras de ferro modular galvanizadas tipo "unha", tipo "dupla" e "reforçada".

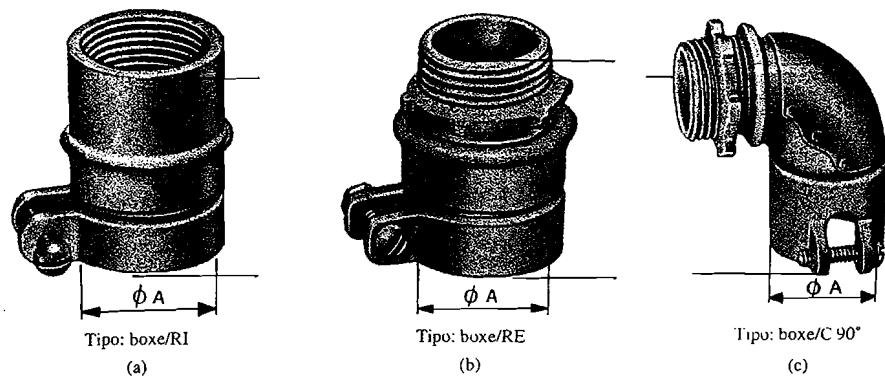


Fig. 16.15 Boxe reto interno (a), externo (b) e curvo (c) em liga de alumínio. Fabricante Wetzel

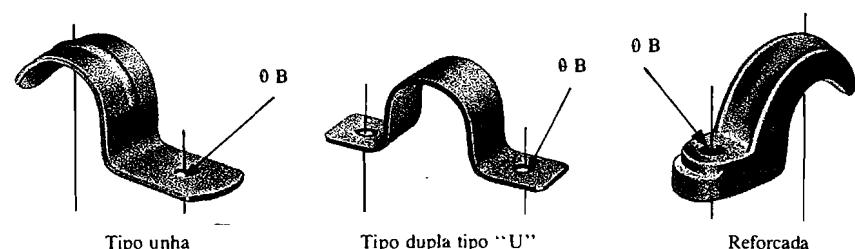


Fig. 16.16 Abraçadeiras de ferro modular, galvanizadas

16.3.7 ELETRODUTOS PLÁSTICOS FLEXÍVEIS (TIGREFLEX)

A Tigre desenvolveu uma linha completa de eletrodutos flexíveis produzidos nas bitolas DN 16, DN 20, DN 25, DN 32, na cor amarela, como diferencial. Este material é fornecido em rolos de 25 a 30 m. A linha é complementada por um conjunto de caixas de embutir e luvas de pressão que se interligam aos tubos pelo sistema de simples encaixe.

16.3.8 ELETRODUTOS PLÁSTICOS FLEXÍVEIS (KANAFLEX)

Kanalex é um dos dutos de grande diâmetro muito usado em nossos dias, devido à sua grande flexibilidade e fácil aplicação em locais onde existam obstáculos a seu encaminhamento.

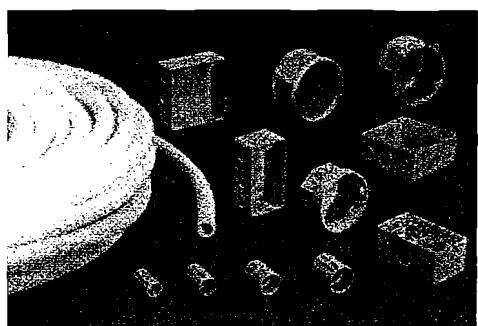


Fig. 16.17 Eletrodutos flexíveis, caixas e luvas Tigreflex (plásticos). Fabricante Tigre

16.4 INSTALAÇÃO EM DUTOS

Os dutos são tubos destinados à condução de cabos, em geral, quando estes devam ficar enterrados. Podem ser de cerâmica vitrificada, de PVC rígido ou flexível, ou de outros materiais resistentes e impermeáveis.

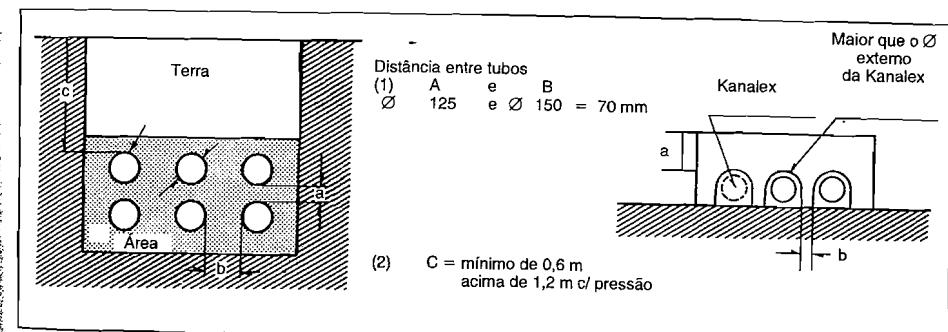


Fig. 16.18 Instalação do duto flexível Kanalex. Fabricante Kanaflex

Um conjunto de dutos envolvidos por concreto constitui um “leito de dutos”. A fiação dos dutos realiza-se através de caixas de enfiamento ou passagem. Estas caixas devem ser instaladas nas mudanças de direção.

Designam-se com o nome de *dutos para barramento (bus-duct)* os dutos metálicos retangulares nos quais o fabricante fornece, fixados em blocos isolantes, barramentos nus em substituição a cabos isolados. Este sistema de instalações pré-fabricadas, também designadas por *bus-ways*, é empregado em indústrias, principalmente nos Estados Unidos.

Os dutos metálicos devem ser aterrados, e deve ser mantida a continuidade dos mesmos em todas as emendas.

16.5 INSTALAÇÃO EM CALHAS E CANALETAS

As calhas e as canaletas (calhas pequenas) podem ser abertas ou fechadas, com ou sem ventilação direta:

- De concreto ou alvenaria com reboco impermeável.
- De chapa dobrada ou liga de alumínio fundido, colocadas em lajes ou alvenaria. Podem ter tampa ou cobertura em:
 - Placas de concreto pré-moldado, quando a calha for de concreto ou alvenaria, fechada.
 - Placas de ferro fundido, ou chapas de aço doce devidamente pintadas com tinta antiferruginosa.
 - Placas do material da própria calha, simplesmente colocadas ou aparafusadas.

- Grades para permitir melhor ventilação.

Os cabos colocados em calhas devem ter isolamento que não fique comprometido por umidade ou água que eventualmente infiltre pela junção com a tampa. Não devem ser colocados em locais onde, pelo piso, possa escorrer líquido agressivo decorrente de algum processo ou operação industrial.

Nas calhas, podem ser colocados cabos ou eletrodutos contendo cabos. Para impedir o contato de algum líquido com os cabos, podem-se usar prateleiras no interior da canaleta e sempre prever a possibilidade de drenagem da mesma.

CALHAS DE PISO

Em prédios de escritórios e comerciais com especificações de instalações de elevado padrão, são empregadas calhas de piso com tampa aparafusada ou justaposta, constituí-

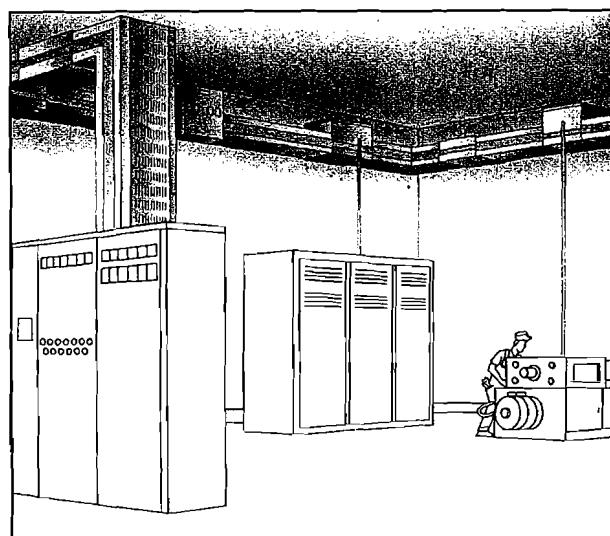
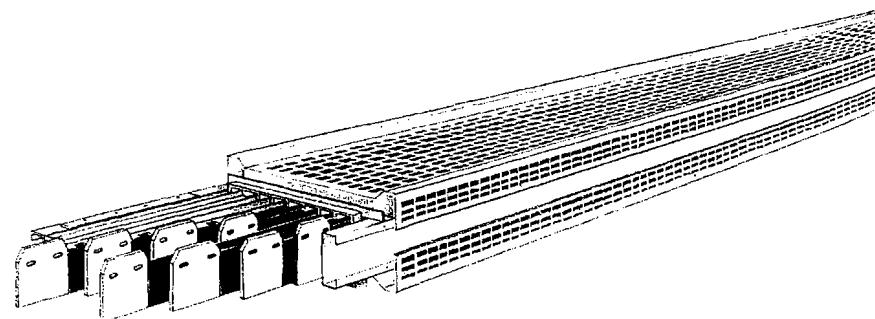
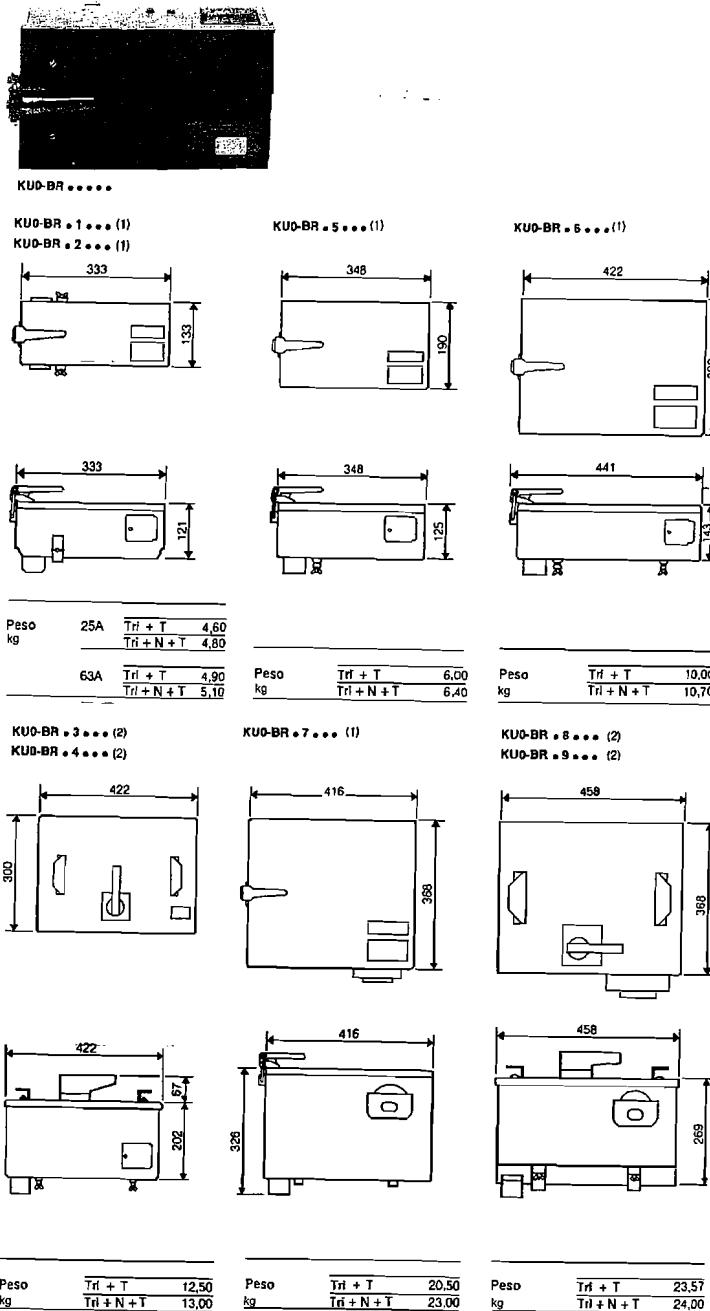


Fig. 16.19 Canalizações elétricas Canalis de 1.000 a 4.300 A, modelo KG, e de 1.000 a 3.800 A, modelo KL, para transporte e distribuição de correntes de grande intensidade, tipo *bus-duct*. Fabricante Télémécanique



(1) Caixas de derivação com fusíveis

(2) Caixas de derivação com seccionadoras e fusíveis

Fig. 16.20 Canalizações elétricas Canalis de 160 A até 700 A, modelos KU1 a KU7, para instalações industriais de média potência. Fabricante Télémécanique

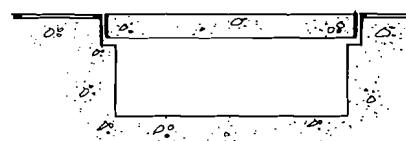


Fig. 16.21 Calha de concreto com tampa de concreto

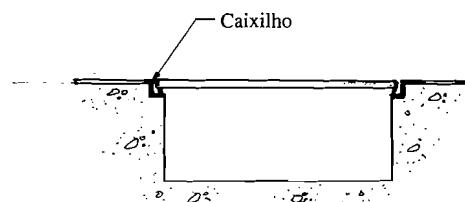


Fig. 16.22 Calha de concreto com tampa metálica

das por dutos da seção retangular, com aberturas para enfiação e derivação de trechos em trechos (Fig. 16.23).

Alguns fabricantes designam o sistema como *canaletas* (Sistema SIK, da Siemens; Sistema X, da Pial Legrand; Canaletas Dutoplast) ou como *dutos*.

O Sistema SIK permite a execução no piso de uma linha geral de alimentação com até quatro sistemas independentes (fiação elétrica, telefonia, intercomunicação e telex), separados rigidamente entre si por divisões formando canaletas distintas. As canaletas e caixas em chapa de aço galvanizado são montadas diretamente sobre a laje e embutidas



Fig. 16.23 Colocação de calhas de piso na laje, antes de sua concretagem

Canaletas
São construídas em chapa de aço zinkado e têm comprimento padrão de 2,6 m.

Tipo	Dimensões nominais mm
5 VRO 2.530	25 × 30 × 2.600
5 VRO 2.560	25 × 60 × 2.600
5 VRO 3.560	35 × 60 × 2.600

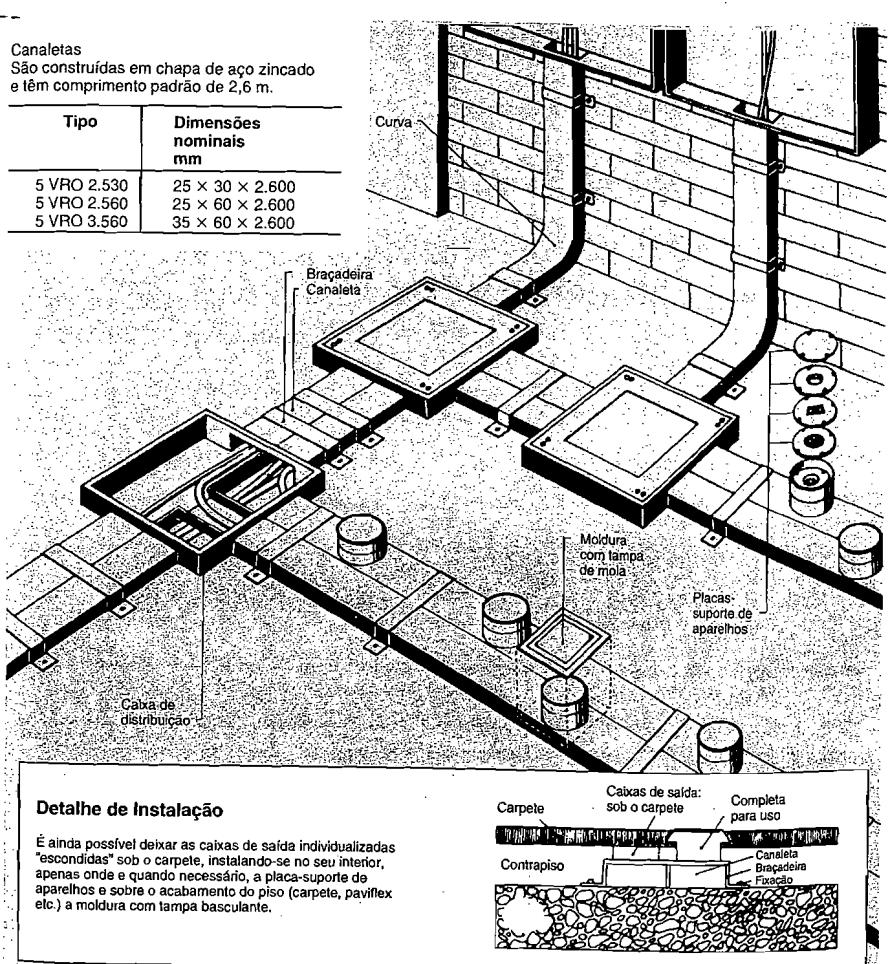


Fig. 16.24 Sistema SIK da Siemens de canaletas de piso com caixas de saída simples para tomadas de piso

Tabela 16.7 Canaletas para tomadas de piso e outras aplicações

Dimensões nominais (mm)	Seção total	Seção a ser utilizada (40%)
30	750 mm ²	300 mm ²
60	1.500 mm ²	600 mm ²
60	2.100 mm ²	840 mm ²

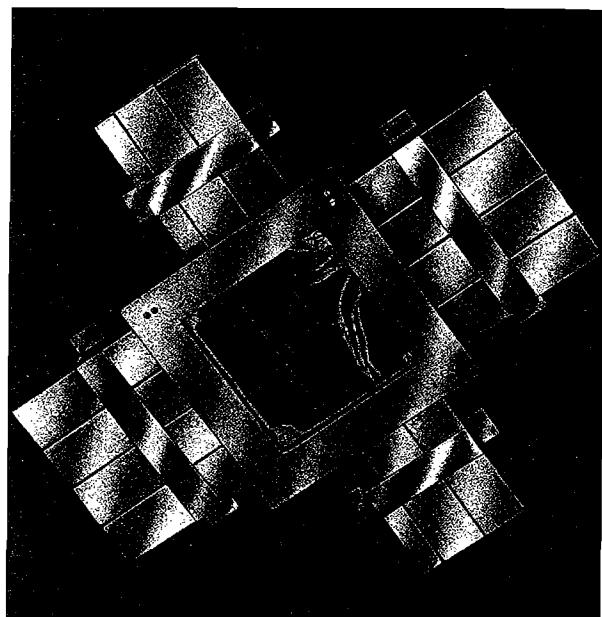


Fig. 16.25 Caixa 5 VRC 2.300, sistema SIK da Siemens cruzamento em X com três sistemas, usando caixa de saída múltipla

no contrapiso (enchimento). Nas caixas de distribuição é mantida a separação inter-sistemas, a qual é feita por acessórios de material isolante (pontes de cruzamento e cantoneiras de separação). As saídas individualizadas (caixas de onde saem os fios para os aparelhos) são montadas diretamente sobre as canaletas. Elas possuem tampa cega, que evita a penetração de corpos estranhos durante a concretagem. Após a colocação do carpete, instala-se a placa-suporte de aparelhos e, em seguida, a moldura com tampa basculante para fazer o acabamento da caixa com o carpete. No caso de se querer “eliminar um ponto de saída”, basta retirar a moldura com tampa de mola e substituí-la por uma tampa cega recoberta por um pedaço do material de acabamento do piso.

Ao se pretender, por exemplo, modificar um ponto de saída elétrico de tomada monofásica para tomada monofásica com polo de terra, basta trocar a placa-suporte de aparelhos, que é fixada por dois parafusos.

■ Exemplo 16.5

Quais deverão ser as dimensões da canaleta de piso para conter 30 cabos unipolares de cobre de $1,5 \text{ mm}^2$ de seção nominal, com isolamento de PVC, Pirastic Antiflam 450/750 V da Pirelli?

Solução

Na Tabela 4.20, da Pirelli, vemos que o cabo referido tem um diâmetro externo nominal de 3,0 mm.

Os 30 cabos ocuparão uma área de

$$30 \times \left(\frac{\pi \times 3^2}{4} \right) = 211,9 \text{ mm}^2$$

Vemos na Tabela 16.7 que a canaleta de $25 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ tem uma seção total de 750 mm^2 e, portanto, 300 mm^2 de área a ser ocupada pelos cabos e que é suficiente para os 30 cabos.

A Télémecanique fabrica canalizações elétricas Canalis, no interior das quais já vêm instalados os condutores ou barramentos, para alimentação de aparelhos de iluminação, motores e quadros de distribuição. Os tipos principais de canalizações Canalis são:

- a) KB4 40 A. Compõe-se de um perfil de aço galvanizado em forma de U, no qual é colocado, contra uma face lateral, um cabo isolado de seção chata com dois ou três condutores + terra. O cabo apresenta, com intervalos regulares, derivações embutidas em aberturas retangulares. O perfil comporta, na parte inferior, perfurações em forma de “botoeiras”, que permitem a ligação dos elementos entre si e a suspensão dos aparelhos de iluminação (ver Fig. 16.26). Os conectores para derivações são para 10 A e 380 V.
- b) KU1 a KU7, de 160 A até 700 A — trés a quatro condutores + terra.

Cofres: de 63 A a 315 A.

São usados para instalações industriais de média potência. Podem ser considerados como *bus-ducts* de pequena e média capacidades. A derivação do duto para uma ramificação se faz em um cofre, no qual são colocados fusíveis Diazed até 63 A e NH acima de 63 A.

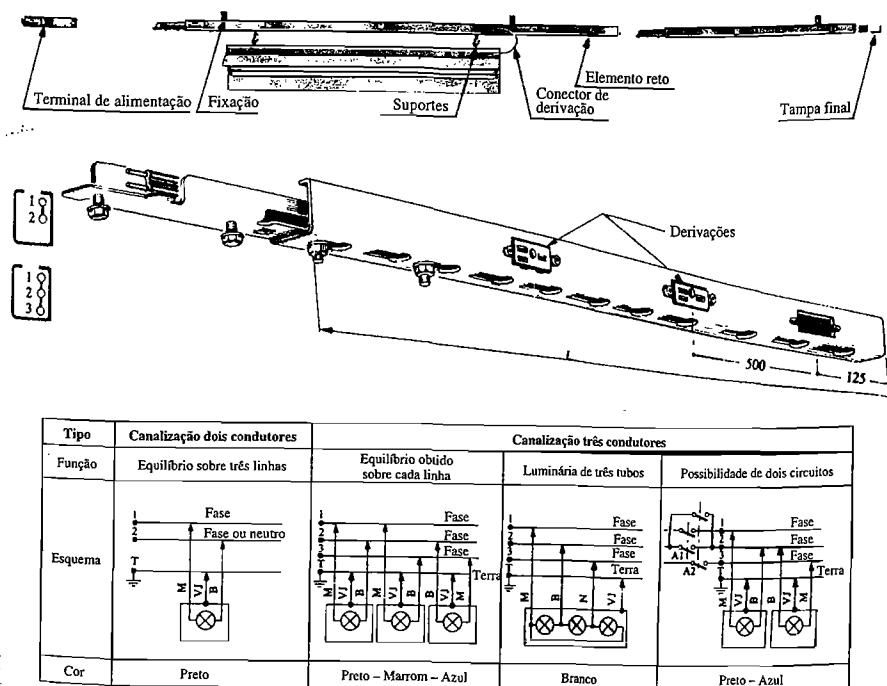


Fig. 16.26 Canalizações elétricas KB4 40 A Canalis, da Télémecanique, para iluminação de prédios industriais, administrativos e comerciais

A Fig. 16.27 mostra um exemplo de aplicação das canalizações descritas.

- c) KL, de 1.000 A a 3.800 A — três ou quatro condutores mais terra.
- d) KG, de 1.000 A a 4.300 A — três a quatro condutores + terra ou tripolar + neutro + terra.

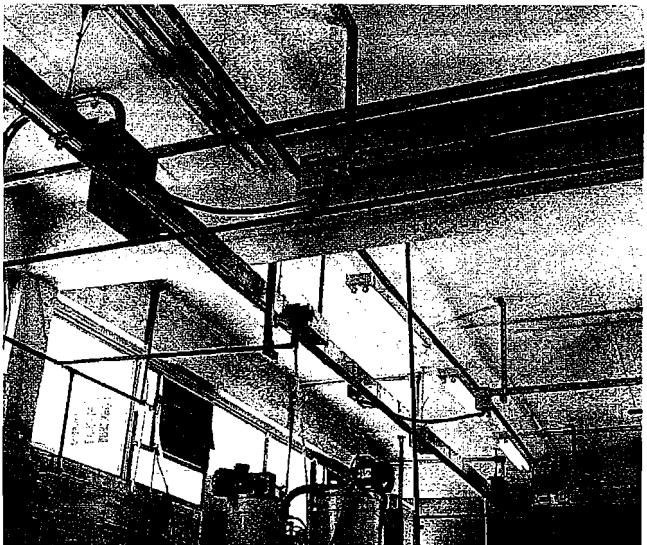


Fig. 16.27 Aplicação das canalizações Canalis. Fabricante Télémécanique

Conforme a intensidade da corrente, o barramento pode ser constituído por uma, duas, três ou quatro barras por fase. Para derivações são adaptados cofres, com dispositivos fusíveis de proteção tipo NH (Fig. 16.28). Este modelo corresponde aos *bus-ducts* para grande capacidade de condução de corrente.

16.6 DUTOS

Os dutos ou leito de cabos são prateleiras rígidas sobre as quais são colocados os cabos, de modo a poderem ser facilmente alcançados. Em geral são de chapa de aço ou de alumínio, podendo eventualmente ser de PVC ou mesmo constituídas por uma prateleira de concreto armado.

A NBR 5.410/97 determina que a instalação em dutos só seja utilizada em estabelecimentos industriais ou comerciais em que a manutenção seja sistemática e executada por "pessoas advertidas ou qualificadas". Os cabos que podem ser colocados em prateleiras são isolados e com cobertura. Deve haver, acima do duto ou prateleira, espaço suficiente para que sejam feitas a instalação e a manutenção dos cabos. Os cabos devem ser dispostos, de preferência, em uma só camada e fixados convenientemente à estrutura do duto.

Quando um duto perfurado, com profundidade útil igual ou inferior a 100 mm, conter cabos unipolares, a soma dos diâmetros de todos os cabos não deverá exceder a largura interna do duto.

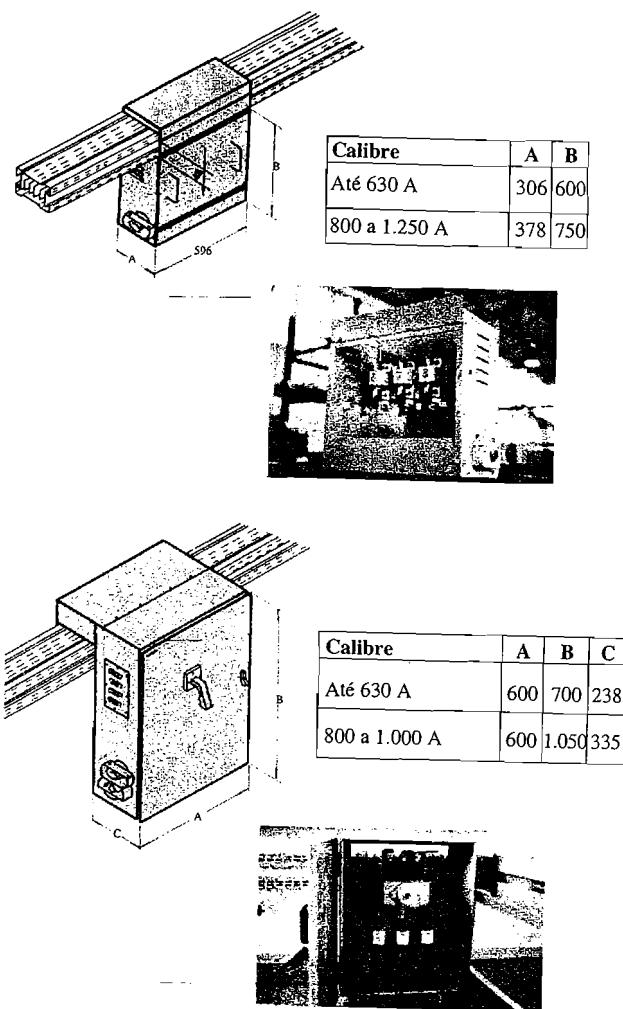


Fig. 16.28 Canalizações elétricas Canalis de 1.000 a 4.300 A, modelo KG para transporte e distribuição de correntes de grandes intensidades, vendo-se os cofres de distribuição. Fabricante Télémécanique

Exemplo 16.6

Um duto perfurado mede 60 mm de largura. Pergunta-se:

- Quantos cabos unipolares Plastic Antiflam Pirelli, de 25 mm², podem ser colocados?
- Quantos cabos unipolares da mesma especificação (16 mm²) podem ser instalados?
- Se forem instalados cinco cabos unipolares de 50 mm², qual a área que sobrará para a colocação de cabos de seção inferior a 16 mm²?

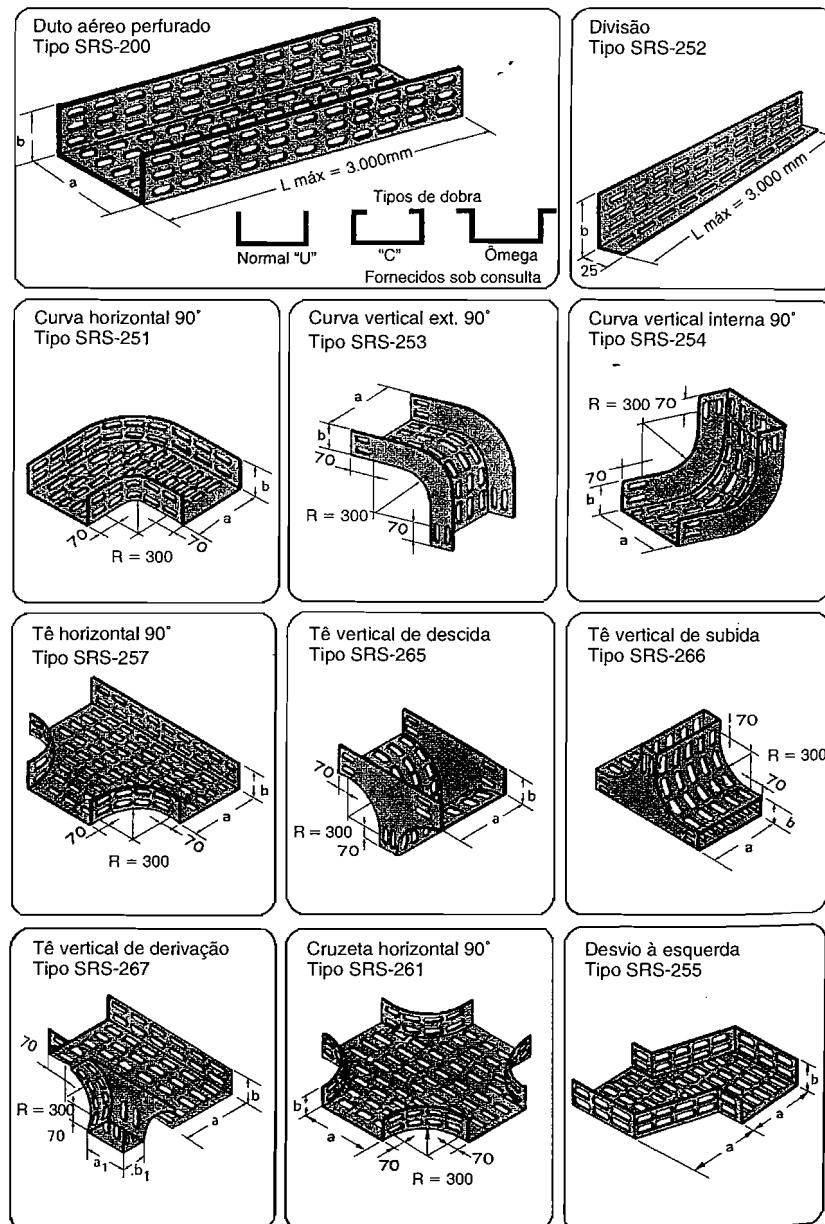


Fig. 16.29 Dutos perfurados em chapas de aço para sustentação e condução de cabos de energia elétrica e telefonia em indústrias, ferrovias, túneis, centrais elétricas e em edificações onde se fazem necessários o suporte e a condução de cabos atingindo distâncias consideráveis. Fabricante Sisa

Solução

- a) O cabo unipolar Pirastic Antiflam Pirelli, de 25 mm^2 , possui um diâmetro nominal externo de 8,5 mm (Tabela 4.20). O número de cabos de apenas uma camada será dado pela largura dividida pelo diâmetro externo:

$$\frac{60}{8,5} = 7,06$$

Portanto, sete cabos.

- b) O cabo unipolar Pirastic Antiflam Pirelli, de 16 mm^2 , tem um diâmetro externo nominal de 6,5 mm (Tabela 4.20).

Na Tabela 16.7, vemos que a área permitível, no caso do duto de 60 mm de largura, é de 840 mm². Vejamos a área da seção do cabo.

$$S = \frac{\pi D_e^2}{4} = \frac{\pi \times 6,5^2}{4} = 33,17 \text{ mm}^2$$

O número máximo de cabos será

$$\frac{840}{33} = 25,32$$

Portanto, 25 cabos de 16 mm^2 .

- c) Temos cinco cabos unipolares de 50 mm^2 . O diâmetro externo deste cabo (Pirastic Antiflam Pirelli) é de 11 mm.

$$S = \frac{\pi \times 11^2}{4} = \frac{379,94}{4} = 94,98 \text{ mm}^2$$

$$94,98 \times 5 = 474,9 \text{ mm}^2$$

De acordo com a Tabela 16.7, a área que sobrará para a colocação de outros cabos será, para o caso do duto de 60 mm:

$$840 - 474,9 = 365,1 \text{ mm}^2$$

16.7 MOLDURAS, RODAPÉS E ALIZARES

A NBR 5.410/97 prevê a utilização destes elementos para passagem de condutores. Estabelece as seguintes recomendações:

- Não devem ser usados em locais úmidos ou sujeitos a lavagens freqüentes.
- Não devem ser imersos na alvenaria nem recobertos por papel de parede, tecido ou qualquer outro material, devendo sempre permanecer aparentes.
- Os de madeira só são admitidos em locais em que é desprezível a probabilidade de presença de água. Os de plástico são admitidos nestes locais e também onde haja possibilidade de quedas verticais de gotas de água, por condensação da umidade, por exemplo.
- Devem possuir tampas ou coberturas com boa fixação.
- As ranhuras devem ter dimensões tais que os cabos possam alojar-se facilmente.
- Nas mudanças de direção os ângulos das ranhuras devem ser arredondados.
- Uma ranhura só deverá conter cabos de um mesmo circuito, os quais devem ser isolados.

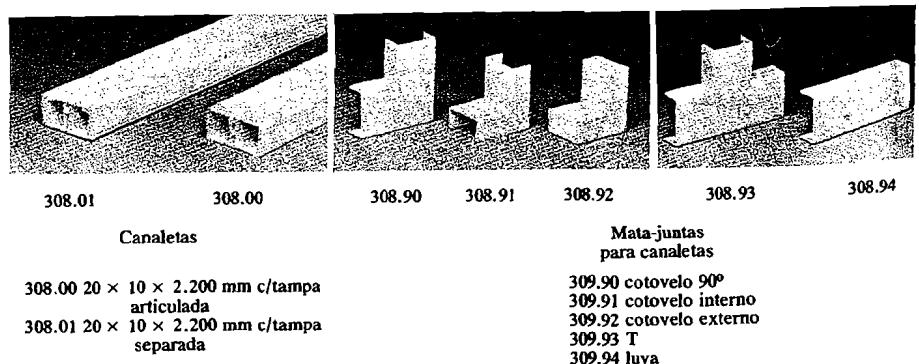


Fig. 16.30 Sistema X Pial Legrand de canaletas de sobrepor, em PVC

- Os cabos devem ser contínuos, sendo as emendas e derivações realizadas em caixas especiais.
- As molduras, rodapés e alizares não devem apresentar qualquer descontinuidade ao longo do comprimento que possa comprometer a proteção mecânica dos cabos.

A Pial Indústria e Comércio Ltda. fabrica o *sistema X* de sobrepor, constituído por dutos ou canaletas de pequenas dimensões que são aplicados às paredes, junto aos rodapés, alizares e molduras, como se pode observar na Fig. 16.30.

16.8 ESPAÇOS VAZIOS E POÇOS PARA PASSAGEM DE CABOS

Espaços vazios são os espaços entre tetos e soalhos, exceto os tetos falsos desmontáveis e as paredes constituídas por elementos ocos (lajotas, blocos de concreto), mas que não são projetados para, por justaposição, formar condutos para a passagem de instalações elétricas.

Podem ser utilizados cabos isolados em eletrodutos ou cabos uni ou multipolares nos espaços de construção ou poços (*shafts*) sob qualquer forma normalizada de instalação desde que:

- a) Possam ser enfiados ou retirados sem intervenção nos elementos de construção do prédio.
- b) Os eletrodutos utilizados sejam estanques e não propaguem a chama.
- c) Os cabos instalados diretamente, isto é, sem eletrodutos, nos espaços de construção ou poços, atendam às prescrições da NBR 5.410 referentes às instalações abertas.

A área ocupada pela instalação, com todas as proteções incluídas, deve ser igual ou inferior a 25% da seção do espaço de construção ou poço utilizado. Os poços de elevadores não devem ser utilizados para a passagem de instalações elétricas, com exceção dos circuitos de controle do elevador.

16.9 INSTALAÇÕES SOBRE ISOLADORES

A instalação de condutores sobre isoladores dentro de edificações deve ser limitada a locais de serviço elétrico (como barramentos) e a utilizações industriais específicas (por exemplo, para a alimentação de equipamentos para elevação e transporte de carga), *sendo proibida em locais residenciais, comerciais e de acesso a pessoas inadvertidas, de um modo geral*.

A NBR 5.410 permite que nas instalações sobre isoladores sejam utilizados os seguintes materiais:

- Barras ou tubos.
- Cabos nus ou isolados.
- Cabos isolados reunidos em feixe.

Para o dimensionamento de barramentos nus instalados sobre isoladores, devem ser obedecidas as seguintes prescrições:

- a) Os tubos ou barras devem ser instalados de forma que as tensões provenientes dos esforços eletrodinâmicos sejam menores do que a metade da tensão de ruptura do material de que sejam constituídos.
- b) A distância entre barras, tubos ou grupos de barras ou tubos correspondentes a diferentes fases e entre estes e as estruturas de montagem deve ser tal que, quando ocorrerem as flechas máximas provenientes dos esforços eletrodinâmicos, os valores das distâncias não sejam inferiores a 6 cm para tensões até 300 V e 10 cm para tensões superiores.
- c) Quando em paralelo, as barras do feixe devem conservar entre si espaçamento igual ou superior à sua espessura. Este espaçamento deve ser feito por meio de calços do mesmo material e de forma quadrangular.

Quando forem usados cabos nus sobre isoladores, deverão ser obedecidas as seguintes prescrições:

- Os cabos nus devem ser instalados a pelo menos 10 cm das paredes, tetos ou outros elementos condutores.
- Se os condutores tiverem que atravessar paredes ou solos, isto deverá ser feito por meio de buchas de passagem ou de dutos de material isolante; neste último caso, utiliza-se um duto por condutor, e a distância entre os condutores deve ser igual à adotada para os condutores fora da travessia.
- A distância mínima entre cabos nus de polaridade diferente deve atender aos valores da Tabela 16.8.

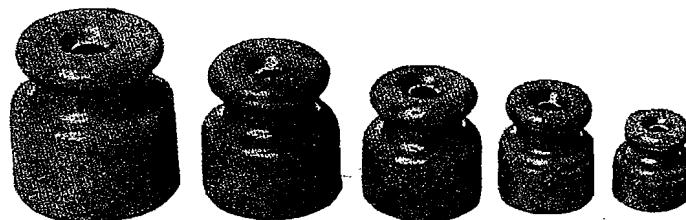


Fig. 16.31 "Roldanas" de porcelana branca. Fabricante Lorenzetti

Tabela 16.8 Afastamento mínimo entre cabos nus de polaridades diferentes

Vão (m)	Afastamento mínimo entre cabos nus (m)
Menor ou igual a 4	0,15
Entre 4 e 6	0,20
Entre 6 e 15	0,25
Maior que 15	0,35

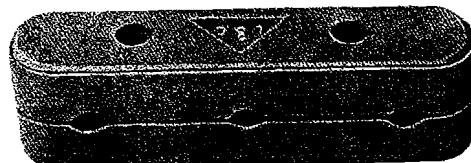


Fig. 16.32 Cleats de porcelana sem vidração. Fabricante Lorenzetti

16.10 INSTALAÇÕES EM LINHAS AÉREAS

As linhas aéreas são linhas exteriores aos prédios, executadas para operar em caráter permanente ou temporário.

A NB 5.410 prescreve: "*Os condutores devem ser isolados.*"

Fica, ainda, definido que os condutores, em vãos de até 15 m, devem ter uma seção superior a 4 mm^2 , e, em vãos superiores a 15 m, uma seção superior a 6 mm^2 . Podem também ser empregados condutores de menor seção, desde que presos a fio ou cabo mensageiro, com resistência mecânica adequada. Em qualquer caso, o espaçamento dos suportes deve ser igual ou inferior a 30 m.

Quando forem instaladas diversas linhas de diferentes tensões em diferentes níveis de uma mesma posteação:

- Os circuitos devem ser dispostos por ordem decrescente de suas tensões de serviço, a partir do topo dos postes.
- Os circuitos para telefonia, sinalização e semelhantes devem ficar em nível inferior ao dos condutores de energia.
- A instalação dos circuitos em postes ou em outras estruturas deve ser feita de modo a permitir o acesso aos condutores mais altos com facilidade e segurança, sem intervir com os condutores situados em níveis mais baixos.
- Os *afastamentos verticais mínimos* entre circuitos devem ser:
 - 1,00 m entre circuitos de alta tensão (15 kV e 34,5 kV) e de baixa tensão.
 - 0,80 m entre circuitos de alta tensão (até 15 kV) e de baixa tensão.
 - 0,60 m entre circuitos de baixa tensão.
 - 0,60 m entre circuitos de baixa tensão e circuitos de telefonia, sinalização e congêneres.

As alturas mínimas dos cabos em relação ao solo deverão ser de:

- 5,50 m, em locais acessíveis a veículos pesados.
- 4,00 m, em entradas de garagens residenciais, estacionamentos ou outros locais não-acessíveis a veículos pesados.
- 3,50 m em locais acessíveis apenas a pedestres.
- 4,50 m, em áreas rurais (cultivadas ou não).

Os cabos devem ficar fora do alcance de janelas, sacadas, escadas, saídas de incêndio, terraços ou locais análogos. Deverão ser instalados das maneiras relacionadas a seguir:

- A uma distância horizontal ou superior a 1,20 m de qualquer abertura na fachada.
- Acima do nível superior de janelas.
- A uma distância vertical igual ou superior a 2,50 m, acima do solo quando houver sacadas, terraços ou varandas.
- A uma distância vertical igual ou superior a 0,50 m, abaixo do piso de sacadas, terraços ou varandas.

Se a linha aérea passar sobre uma zona acessível da edificação, deve ser obedecida a altura mínima de 3,50 m. As emendas e derivações devem ser feitas a distâncias iguais ou inferiores a 0,30 m dos isoladores.

Como suporte para os isoladores, podem ser utilizadas paredes de edificações, não sendo permitida a utilização de árvores, canalizações de qualquer espécie ou elementos de pára-raios.

Os vãos devem ser calculados em função da resistência mecânica dos condutores e das estruturas de suporte, não devendo os condutores ficar submetidos, nas condições consideradas mais desfavoráveis de temperatura e vento, a esforços de tração maiores do que a metade da respectiva carga de ruptura. Além disso, os vãos não devem exceder:

- a) 10 m em cruzetas ao longo de paredes.
- b) 30 m nos demais casos.

16.11 CAIXAS DE EMBUTIR, SOBREPOR E MULTIUSO

As caixas em instalações elétricas podem ter várias finalidades, conforme sejam usadas como:

- Caixa de enfiacão ou passagem.
- Caixa para interruptor ou tomada em parede (Fig. 16.33).

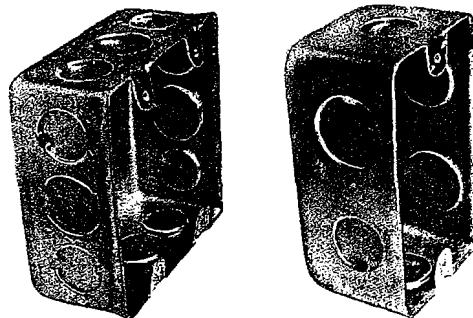


Fig. 16.33 Caixas de ferro estampado chapa n.º 18, de 4" × 4" e 4" × 2", zincadas a fogo. Fabricante Lorenzetti

- Caixa para centro de luz no teto.
- Caixa para botão de campainha ou ponto de telefone.
- Caixas para tomadas de piso (Fig. 16.34).

Em instalações embutidas, usam-se caixas de chapa de aço. As usadas para interruptores, tomadas, botão de campainha e ponto de telefone são estampadas, esmaltadas, ao

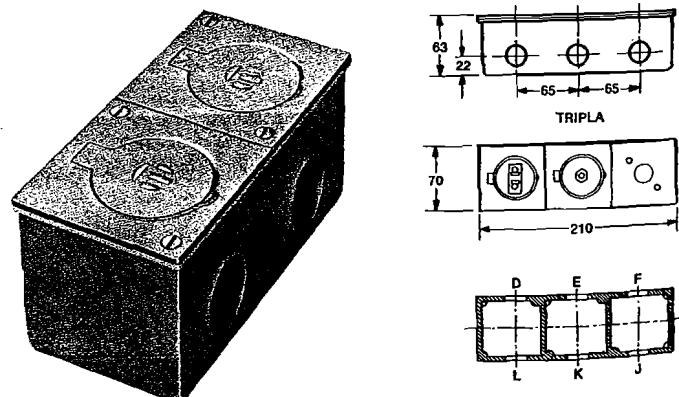


Fig. 16.34 Caixas dupla e tripla de piso em alumínio injetado, para tomada de piso, telefone ou campainha. Tampa em latão forjado. Fabricante Peterco

passo que a caixa para centro de luz, quando colocada na laje de concreto, é octogonal, de fundo móvel, e não é estampada. As caixas mencionadas possuem "orelhas" com furos para fixação de tomadas, interruptores ou aparelho de iluminação, conforme o caso.

As caixas estampadas podem ser de:

- 4" × 4" ou 5" × 5" com furos de 1/2", 3/4" e 1".
- 4" × 2", com furos de 1/2" e 3/4".
- 3" × 3" × 1 1/2", octogonais, com furos de 1/2" e 3/4".

Existem tampas de ferro para caixa de 4" × 4" com abertura retangular para colocação de um interruptor ou tomada, e com abertura quadrada, para colocação de dois desses dispositivos.

Sobre as caixas são adaptados os "espelhos" ou "placas" de baquelite, bronze, alumínio, que rematam com a parede e permitem a atuação sobre interruptores, tomadas, botões etc. (Fig. 16.35).

As caixas de embutir de 4" × 2" e 4" × 4" de plástico reforçado fabricadas por Steck Conexões e Materiais Elétricos Ltda. possuem orelhas de fixação metálica.

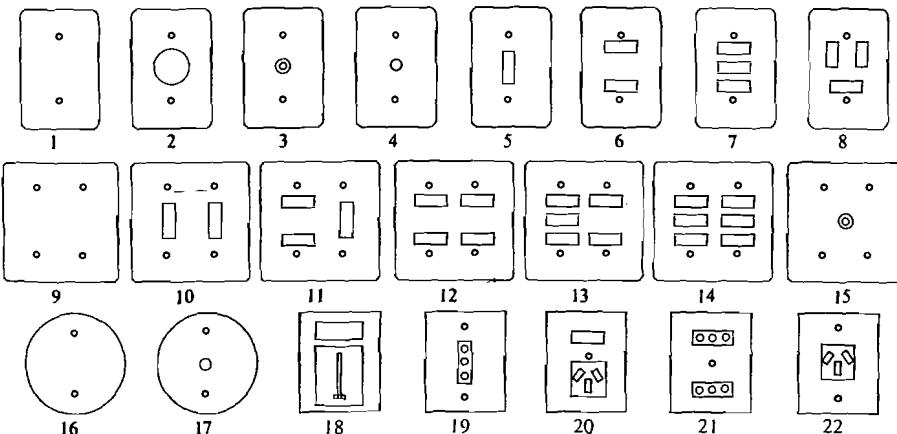


Fig. 16.35 Espelhos para caixas embutidas

Tabela 16.9 Número máximo de cabos que podem entrar (ou sair) de uma caixa, de modo a se poder fazer adequadamente a enfiacão e a colocação de interruptor, tomada ou botão

Tipo de caixa Formato e designação	Número máximo de cabos (mm)				Emprego
	1,5	2,5	4	6	
Retangular 4" × 2"	5	5	4	0	Interruptor e tomada
Octogonal 3" × 3"	5	5	4	0	Botão de campainha, ligação ou junção
Octogonal (fundo móvel) 4" × 4"	11	11	9	5	Ligação ou junção, centro de luz
Quadrada 4" × 4"	11	11	9	5	Interruptor, tomada e ligação
Quadrada 5" × 5"	20	16	12	10	Ligação

16.12 CAIXAS DE DISTRIBUIÇÃO APARENTE (CONDULETES)

Em instalações aparentes largamente usadas em indústrias, depósitos e estabelecimentos comerciais de vulto, utilizam-se caixas de passagem em geral de alumínio injetado.

Estas caixas ainda hoje são designadas genericamente por *conduletes*. Possuem partes rosqueadas para adaptação de eletrodutos e tampa aparafusável. São muito usadas as caixas da Peterco — *petroletes*— (Fig. 16.36), as da Blinda Eletromecânica Ltda. e as da Metalúrgica Wetzel S.A. (Fig. 16.37). Conforme esclarece o catálogo da Wetzel, os *conduletes* de sua fabricação podem também ser embutidos e empregados em instalações residenciais.

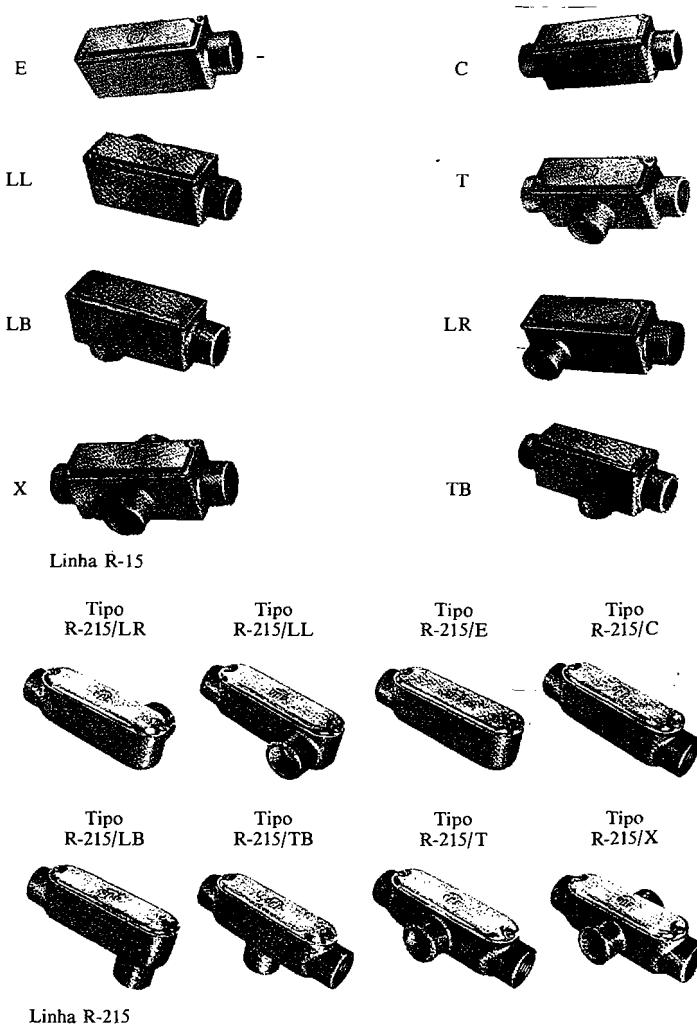


Fig. 16.36 Caixas de distribuição aparente *petroletes*. Fabricante Peterco

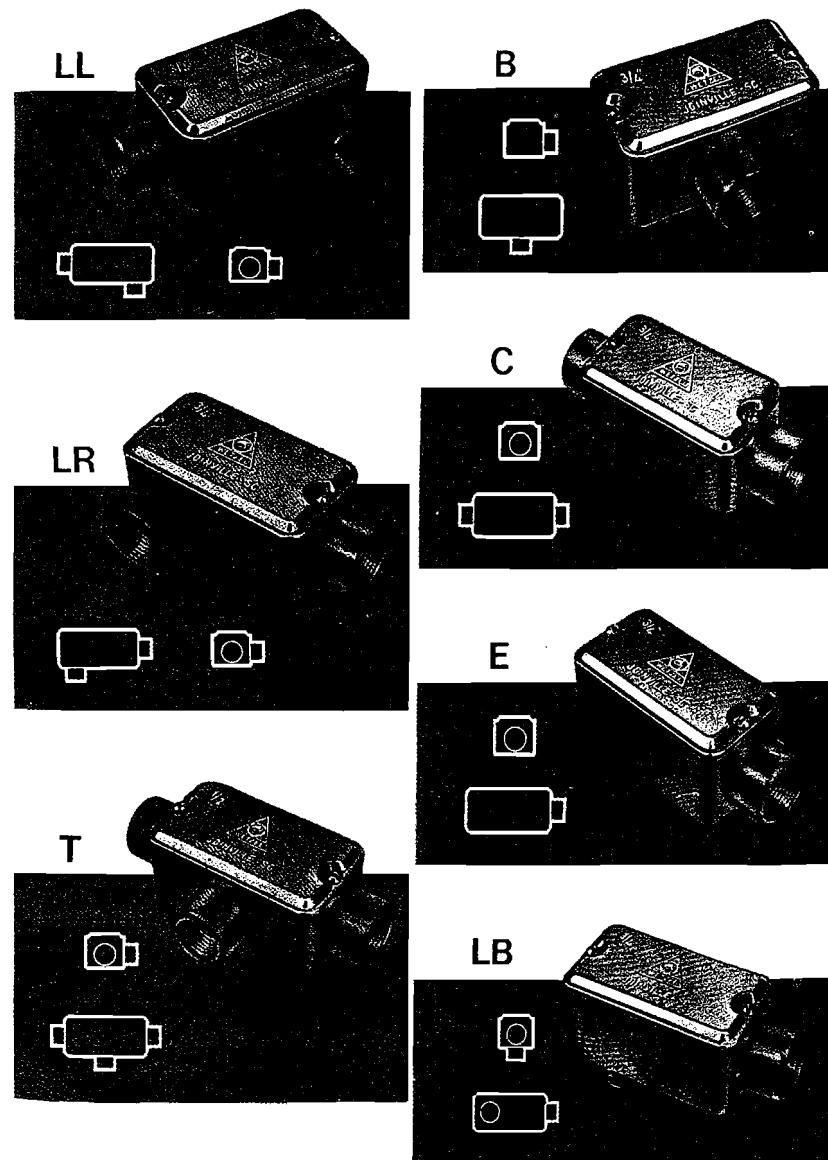
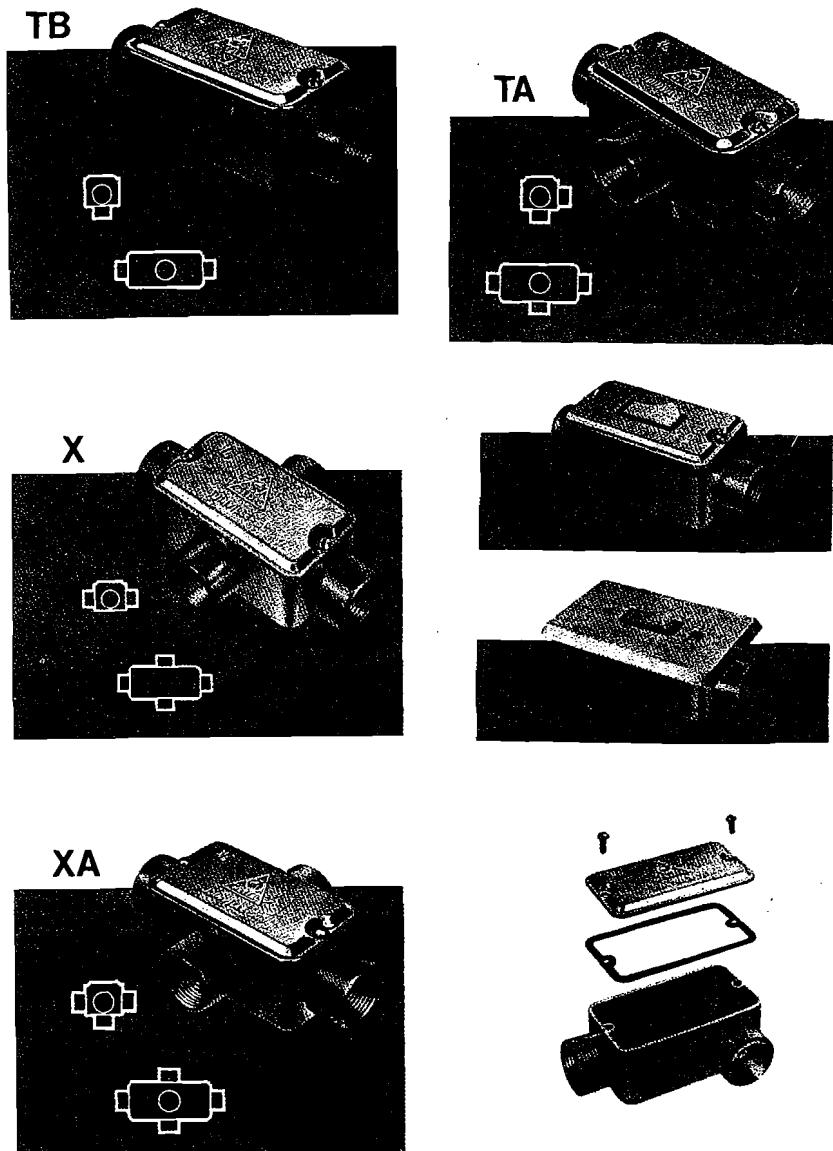
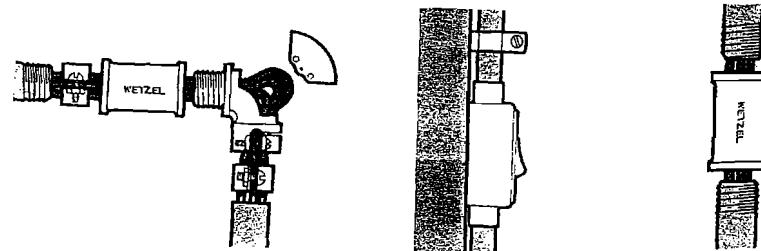
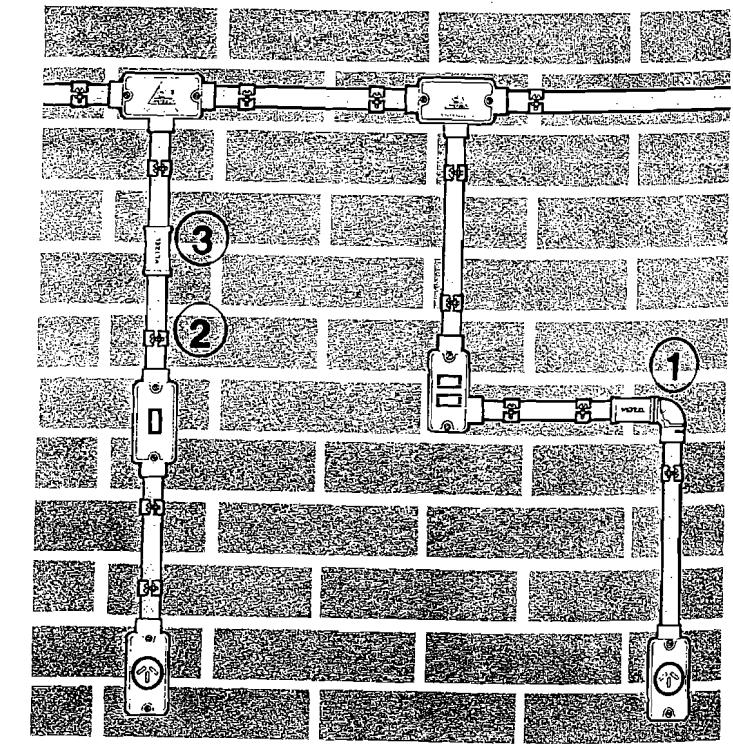


Fig. 16.37a *Conduletes*. Fabricante Wetzel

Fig. 16.37b *Conduletes*. Fabricante Wetzel

1- Em caso de instalações que venham a sofrer alterações ou transferências de local, o desenho nos dá um exemplo de grande valia, em face da rapidez e da segurança na execução.

2- Na fixação das instalações são aplicadas as abraçadeiras Wetzel tipo "D", desenvolvidas para dar total segurança e perfeito alinhamento.

3- Luva Wetzel para eletrodutos, um acessório perfeito para conectar extremidades de tubulação, fornecida em alumínio silício, de $1/2"$ a $3"$.

Fig. 16.38a *Caixas e conexões*. Fabricante Wetzel

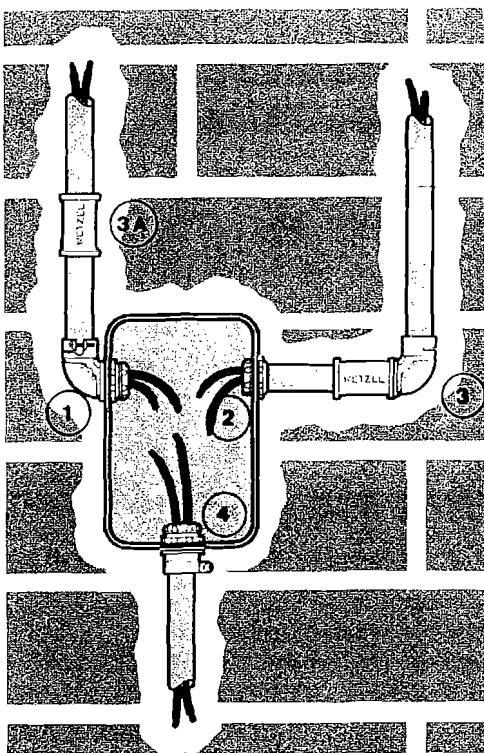
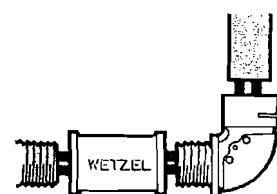
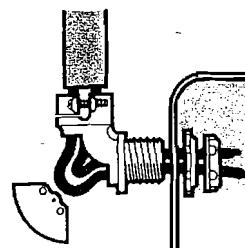


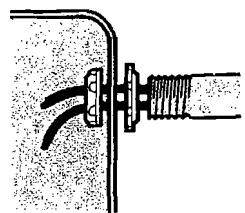
Fig. 16.38b Caixas e conexões. Fabricante Wetzel



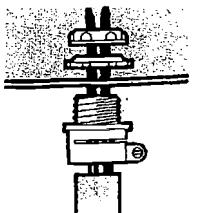
3- A luva Wetzel permite conectar extremidades de tubulações, quer em trechos retos (3 A), quer em caso de curvas ou contornos. Considerando que a tubulação tem a mesma bitola das peças e acessórios para eletrodotros, faz-se obrigatória a aplicação da luva como mostra o desenho.



1- Conector curvo para boxe Wetzel: permite fazer curvas facilmente e com muita segurança. Com a retirada da tampa, os fios deslizam livremente. Em seguida, basta introduzi-los no outro sentido e puxar, obtendo curvas rápidas e perfeitas sem prejudicar ou descascar os fios. Neste caso, o tubo não precisa ter roscas.



2- Buchas e arruelas Wetzel: permitem fixar qualquer tubulação nas caixas, conforme mostra o desenho. A arruela fixa o tubo, a bucha não deixa os fios descascarem e servem também como contraponto na aperto da fixação do tubo.



4- Em todas as instalações elétricas, principalmente nas caixas medidoras, as centrais elétricas etc. gera a aplicação destas peças, disponíveis nas bitolas 3/8" a 4". No desenho, uma informação sobre a aplicação do conector reto para boxe. Na aplicação do conector reto, não há necessidade de rosca nos tubos, o que não acontece com as buchas e arruelas. Ver ilustração.

16.13 QUADROS TERMINAIS DE COMANDO E DISTRIBUIÇÃO

Exercem uma função de grande importância nas instalações elétricas. Diversos fabricantes oferecem ao usuário modelos variados, dos quais apresentamos alguns exemplos.

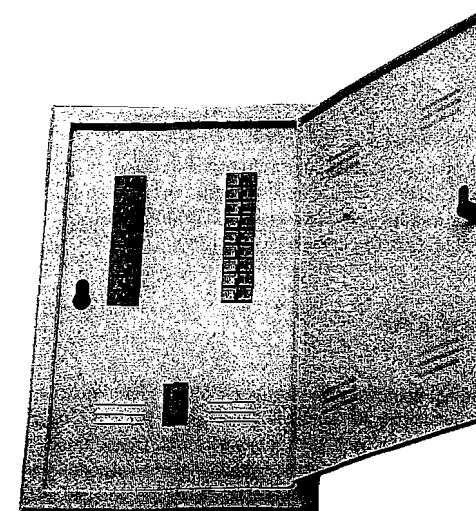


Fig. 16.39 Quadro de distribuição para uso como quadro de luz e energia. Pode ser equipado com disjuntores termomagnéticos monofásicos, bifásicos ou trifásicos. Fabricante Cemar

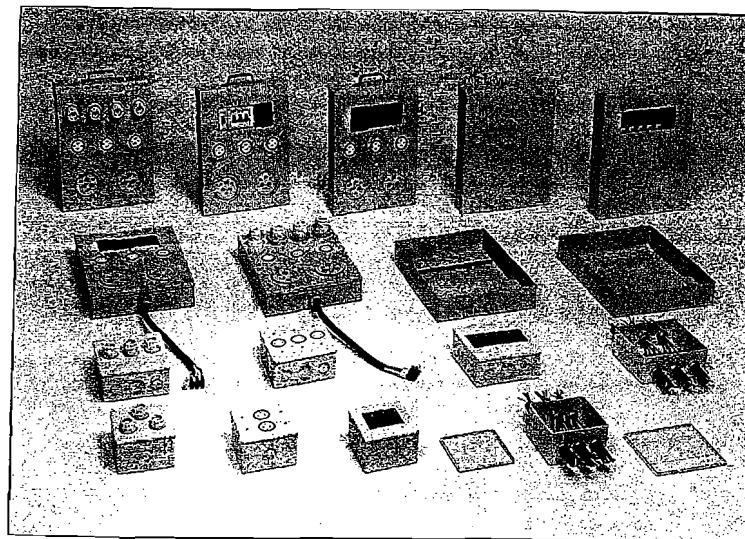


Fig. 16.40 Caixas multiuso. Podem ser utilizadas como miniquadros de comando, centros de distribuição para disjuntores, caixas de passagem, derivação de fios e caixas de fusíveis. Fabricante Cemar

17 Exemplo de Projeto de Instalações Elétricas

O projeto de instalações elétricas é o nosso objetivo final. Deve ser claro (símbologia bem definida), completo (tubulação, enfiação e quadros), compartimento de medição aprovado pela Concessionária local, com memória de cálculo e memorial descritivo (materiais a serem aplicados na execução).

17.1 INTRODUÇÃO

Os diversos assuntos apresentados ao longo dos capítulos anteriores cristalizam-se na elaboração do projeto de instalações elétricas. Conforme repetidas vezes foi mencionado, o autor do projeto deve procurar, inicialmente, tomar conhecimento e obter as normas, prescrições e regulamentos pertinentes ao fornecimento de energia elétrica da Concessionária na região em que a edificação venha a ser construída.

Para dar início ao seu trabalho, o projetista de instalações deverá ter em mãos os seguintes documentos:

- Projeto de arquitetura (escala 1:50 ou 1:100), com as plantas dos pavimentos, cortes e planta de situação.
- Plantas de fôrmas da estrutura adotada pelo calculista: concreto armado, alumínio, ferro, madeira.
- No caso de ar condicionado central, desenhos do sistema de dutos, com indicação dos pontos de consumo de energia elétrica.
- Descrição dos motores e da casa de máquinas dos elevadores. O fabricante contratado fornece uma planilha com essas informações, incluindo o dimensionamento dos cabos elétricos e suas proteções.

No desenvolvimento do projeto e de acordo com a complexidade da edificação, haverá necessidade de termos os dados referentes ao centro de processamentos de dados, cozinhas, paisagismo.

17.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UM PROJETO

Um projeto de instalações elétricas compreende:

17.2.1 MEMORIAL DESCRIPTIVO

Descrição sucinta das instalações a serem executadas e justificativa, quando necessário, das opções adotadas.

As especificações compreendem:

- Descrição dos materiais a serem empregados.
- Normas e métodos de execução dos serviços.

- Indicação dos serviços a executar.

Estes elementos, muitas vezes, são agrupados de modo conciso, porém com a clareza necessária.

17.2.2 PLANTAS OU PROJETO PROPRIAMENTE DITO

Dependendo do projeto arquitetônico, as plantas ou desenhos de instalação poderão constar de:

- Subsolo (ou subsolos).
- Térreo ou pilotis.
- Pavimentos de uso comum.
- Andares de estacionamento.
- Pavimento-tipo.
- Pavimentos diferentes do tipo.
- Cobertura ou telhado.
- Esquema vertical.
- Subestação (se for o caso).
- Local de medidores.
- Quadros de carga e diagramas unifilares.

17.2.3 MEMORIAL DE CÁLCULO PARA O LOCAL DE MEDIÇÃO

A apresentação dos cálculos das cargas instaladas, e demandadas, das seções de condutores, das capacidades dos fusíveis, disjuntores e equipamentos do local de medição poderá vir a ser exigida pela concessionária do fornecimento de energia, conforme estabelecerem suas normas e regulamentos para ligação do ramal.

17.2.4 ORÇAMENTO

- Relação dos materiais, com seus quantitativos.
 - *Custo do material.* Obtido multiplicando-se o preço unitário pela quantidade de cada item constante da "listagem".
 - Custo da mão-de-obra. Pode ser determinado pela consideração:
 - a) da composição de preços de serviços parciais, utilizando coeficientes de *boletins de custos* e aplicando os valores dos salários das diversas categorias profissionais envolvidas no serviço;
 - b) dos efetivos de profissionais eletricistas necessários para a realização das várias etapas dos serviços, acompanhando o ritmo previsto para a execução da construção.
 - Custo das despesas correspondentes a leis sociais e encargos trabalhistas.
 - Margem de "eventuais" para materiais e mão-de-obra.
 - Impostos e taxas estaduais e municipais.
 - Despesas financeiras.
 - Passagens para condução de operários e transporte de material para a obra.
 - Despesas com o próprio projeto. Ao final da obra, é necessário atualizá-lo, dando origem ao projeto como construído (*as built*), em face de modificações usualmente introduzidas no processo de execução.
 - Despesas indiretas, como despachante, cópias heliográficas, xerox etc.
 - Lucro ou taxa de honorários profissionais. Vem a ser uma porcentagem sobre o custo orçado, variável segundo o volume de serviços, o valor do contrato, a pressão de competição e o interesse em realizar a obra.
- O preço final resulta da soma dos itens anteriormente apresentados.

17.3 PROJETO DE UM PRÉDIO DE APARTAMENTOS

A metodologia apresentada a seguir refere-se à seqüência de projeto de um edifício com um apartamento por andar, cinco pavimentos, térreo, garagem no subsolo e uma cobertura.

Parte do cálculo do térreo (referente ao apartamento do porteiro) já foi exposta no Exemplo 3.4 (Cap. 3), não sendo necessário desenvolvê-lo nesta seção.

Salientamos, ainda, que este projeto está de acordo com a NBR 5.410/97, em suas recomendações específicas (ver item 3.5).

17.3.1 DADOS INICIAIS

- Alimentação com F-N, 127/220 V.
- Planta de arquitetura em escala 1:50.
- Iluminação incandescente ($\cos \varphi = 1$).
- Tomadas de uso geral ($\cos \varphi = 0,8$).
- Tomadas de uso específico previstas para:
 - Boiler (apartamento-tipo), 3.000 W; $\cos \varphi = 1$
 - Torneira elétrica (cozinha [apartamento-tipo e apartamento térreo]), 3.000 W; $\cos \varphi = 1$
 - Chuveiro elétrico (1 unidade do apart. térreo), 4.000 W; $\cos \varphi = 1$
 - Máquina de lavar, 770 VA; $\cos \varphi = 0,8 \rightarrow 616$ W
1 unidade no apartamento térreo
1 unidade em cada apartamento-tipo
 - Ar-condicionado de janela de 1 cv / 1 HP $\rightarrow 1.430$ VA; $\cos \varphi = 0,8 \rightarrow 1.144$ W
1 unidade no apartamento térreo
4 unidades no apartamento-tipo (1.º ao 5.º)

17.3.2 PAVIMENTO-TIPO (1.º AO 5.º)

17.3.2.1 Apartamento-tipo

Devemos lembrar que as Tabelas 17.1, 17.2 e 17.3 referem-se às condições *mínimas* impostas pela NBR 5.410/97. No presente projeto, algumas dependências estão com potências acima das potências máximas das tabelas mencionadas.

A) Potência instalada:

Potência instalada de iluminação	$= 2.140$ W
Potência instalada de tomadas de uso geral	$6.400 \times 0,8 = 5.120$ W
Potência instalada de tomadas de uso especial	$= 11.192$ W
TOTAL	18.452 W

B) Densidade elétrica:

$$\text{Densidade elétrica} = \frac{18.452 \text{ W}}{88,66 \text{ m}^2} = 208 \text{ W/m}^2$$

Podemos verificar que esse valor é bem superior ao mínimo exigido para residências (Tabela 3.6).

C) Divisão em circuitos:

Ver Tabela 17.4.

Tabela 17.1 Memória de cálculo (iluminação)

Potência instalada Iluminação (condições mínimas) (Para cada 6 m ² = 100 VA; cada 4 m ² = 60 VA)	
Circulação Sacada Banheiros (3) Cozinha W.C. Área de serviço	$A < 6 \text{ m}^2 \longrightarrow 100 \text{ VA em cada dependência}$
Sala	$20,81 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 2,81 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 60 \text{ VA} = 280 \text{ VA}$
Quarto n.º 1	$7,75 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 1,75 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA}$
Quarto n.º 2	$11,00 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA}$
Quarto n.º 3	$10,56 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 0,56 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA}$
Varanda	$7,04 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 1,04 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA}$
Sala de jantar	$6,72 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 0,72 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA}$

Tabela 17.2 Memória de cálculo (tomadas)

Potência instalada Tomadas de uso geral (TUGs) (condições mínimas)				
Circulação Banheiros (3) W.C. Sacada Área de serviço	$S < 6 \text{ m}^2$	1 TUG de 100 VA na Circulação, S. Jantar, Sacada e W.C. 1 TUG de 600 VA nos Banheiros e Área de Serviço		
Cozinha	$\frac{9,40}{3,5} = 2,6 \rightarrow 3$	TUGs	3×600 VA	
Sala	$\frac{19,4}{5} = 3,88 \rightarrow 4$	TUGs	4×100 VA	
Quarto n.º 1	$\frac{11,2}{5} = 2,24 \rightarrow 3$	TUGs	3×100 VA	
Quarto n.º 2	$\frac{13,8}{5} = 2,76 \rightarrow 3$	TUGs	3×100 VA	
Quarto n.º 3	$\frac{13,6}{5} = 2,72 \rightarrow 3$	TUGs	3×100 VA	
Varanda	$\frac{12,9}{5} = 2,58 \rightarrow 3$	TUGs	3×100 VA	
Sala de jantar	$\frac{6,72}{5} = 1,34 \rightarrow 2$	TUGs	2×100 VA	

Tabela 17.3 Memória de cálculo (apartamento-tipo)

Dependência	Dimensões		Potência de iluminação (VA)	Tomadas de uso geral (TUGs)		Tomadas de uso específico (TUEs)		Discriminação	Potência (W)
	Área (m²)	Perím. (m)		Quant.	Potência (VA)	Discriminação	Potência (W)		
Sala	20,81	19,4	300	4	400	Ar-cond. janela	1.144		
Sacada	3,35	10,0	120	1	100	—	—		
Quarto n.º 1	7,75	11,20	100	3	300	Ar-cond. janela	1.144		
Quarto n.º 2	11,00	13,80	200	3	300	Ar-cond. janela	1.144		
Quarto n.º 3	10,56	13,60	200	3	300	Ar-cond. janela	1.144		
Varanda	7,04	12,90	120	3	300	—	—		
Circulação	4,35	8,80	100	1	100	Boiler	3.000		
Sala de jantar	6,72	10,80	160	3	300	—	—		
Banheiro n.º 1	4,64	9,00	200*	1	600	—	—		
Banheiro n.º 2	3,84	8,00	200*	1	600	—	—		
Banheiro n.º 3	2,00	6,60	100	1	600	—	—		
Cozinha	5,50	9,40	100	3	1.800	Torneira elétrica	3.000		
Área de serviço	3,25	7,60	100	1	600	Máq. lavar	616		
W.C.	1,2	4,60	140*	1	100	—	—		
Total	88,66	—	2.140	—	6.400	—	11.192		

*1 ponto de luz no teto
† arandela

Tabela 17.4 Divisão dos circuitos (apartamento-tipo)

Circuitos terminais (CTs)	U (V)	P (VA)	$I_B = \frac{P}{V}$ (A)	f	$I_B = \frac{I_E}{f}$	S (mm²)		I_n (A)	Discriminação
						Vivos	PE		
1	127	1.040	8,20	0,8	10,20	1,5	1,5	10	Ilum. (sala, sacada, quartos 1, 2 e 3, e varanda)
2	127	1.100	8,60	0,8	10,80	1,5	1,5	10	Ilum. (sala de jantar, banheiros 1, 2 e 3, cozinha, área de serviço, W.C. e circ.)
3	220	3.000	13,6	0,8	17,10	2,5	2,5	15	TUE (torneira cozinha)
4	127	1.200	9,40	0,8	11,80	2,5	2,5	15	TUG (cozinha)
5	127	1.000	7,90	0,8	9,80	2,5	2,5	15	TUG (cozinha, sala de jantar e W.C.)
6	127	1.200	9,40	0,8	11,80	2,5	2,5	15	TUE (banheiro 3, área de serv.)
7	127	770	6,10	0,8	7,60	2,5	2,5	15	TUE (máquina de lavar)
8	127	1.400	11,00	0,8	13,70	2,5	2,5	15	TUG (sala, quarto 1, banheiro 1, sacada)
9	127	900	7,10	0,8	8,80	2,5	2,5	15	TUG (quartos 2 e 3, varanda)
10	127	700	5,50	0,8	6,80	2,5	2,5	15	TUG (circ., banheiro 2)
11	220	3.000	13,60	0,8	17,10	2,5	2,5	15	TUE (boiler)
12	127	1.430	11,20	0,8	14,10	2,5	2,5	15	TUE ar-cond. (sala)
13	127	1.430	11,20	0,8	14,10	2,5	2,5	15	TUE ar-cond. (quarto 1)
14	127	1.430	11,20	0,8	14,10	2,5	2,5	15	TUE ar-cond. (quarto 2)
15	127	1.430	11,20	0,8	14,10	2,5	2,5	15	TUE ar-cond. (quarto 3)
16	127	1.000	—	—	—	—	—	—	Reserva
17	127	1.000	—	—	—	—	—	—	Reserva
18	127	1.000	—	—	—	—	—	—	Reserva
TOTAL	—	24.030	—	—	—	—	—	—	—

17.3.2.2 Pavimento-tipo (circuitos de serviço)

Tabela 17.5 Memória de cálculo de iluminação pavimento-tipo (serviço)

Potência instalada	Iluminação
Circulação	6 m^2 100 VA $= 100 \text{ VA}$
Hall	$A < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 100 \text{ VA}$
Escada	$A < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 100 \text{ VA}$

Tabela 17.6 Cálculo de tomadas do pavimento-tipo (serviço)

Potência instalada	Tomadas de uso geral (TUGs) (perímetro dividido por 5 m)		
Circulação	$\frac{10,8 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,1$	$\rightarrow 2 \text{ TUGs}$	$2 \times 100 \text{ VA}$
Hall	$\frac{6,2 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 1,2$	$\rightarrow 1 \text{ TUG}$	$1 \times 100 \text{ VA}$
Escada	$\frac{10,40 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,08$	$\rightarrow 2 \text{ TUGs}$	$2 \times 100 \text{ VA}$

17.3.2.3 Térreo (circuitos de serviço)

Tabela 17.7

Potência instalada	Iluminação
Fachada	$13,55 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 3,55 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 60 \text{ VA}$ $= 220 \text{ VA}$
Rampa da garagem	$22,11 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 +$ $+ 0,11 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 60 \text{ VA} +$ $+ 60 \text{ VA}$ $= 340 \text{ VA}$
Circulação	$12,92 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 2,92 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA}$ $= 160 \text{ VA}$
Escada	$6,12 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 0,12 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA}$
Circ. elevador	$A < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$

Tabela 17.8

Potência instalada	Tomadas de uso geral (TUGs)	
Rampa da garagem	$\frac{10,05 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,01$	$2 \times 100 \text{ VA}$
Circulação	$\frac{11,75 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,35$	$2 \times 100 \text{ VA}$
Fachada	$\frac{7,80 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 1,56$	$1 \times 100 \text{ VA}$
Escada	$\frac{10,6 \text{ m}}{5,0} = 2,12$	$2 \times 100 \text{ VA}$
Circ. elevador	$\frac{13,45 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,6$	$2 \times 100 \text{ VA}$

17.3.2.4 Subsolo (circuitos de serviço)

Tabela 17.9

Potência instalada	Iluminação
Estacionamento	$45,04 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 9 \times 4 \text{ m}^2 + 3,04 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA} + 540 \text{ VA}$ $= 640 \text{ VA}$
Casa de bombas	$6,12 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 0,12 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$
Banheiro	$A < 6 \text{ m}^2 = 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$
Circ. elevadores	$7,88 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 1,88 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$
Acesso à rampa	$14,19 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 0,19 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA} + 60 \text{ VA} + 60 \text{ VA}$ $\approx 200 \text{ VA}$

Tabela 17.10

Potência instalada	Tomadas de uso geral (TUGs)	
Estacionamento	$\frac{30,6 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 6,12$	$6 \times 100 \text{ VA}$
Casa de bombas	$\frac{10,6 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,12$	$2 \times 100 \text{ VA}$
Banheiro	$\frac{5,6 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} = 1,6$	$1 \times 600 \text{ VA}$
Acesso à rampa	$\frac{17,30 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 3,46$	$3 \times 100 \text{ VA}$

17.3.2.5 Cobertura (circuitos de serviço)

Tabela 17.11

Potência instalada	Iluminação
Casa de máquinas	$7,02 \text{ m}^2 = 6,0 \text{ m}^2 + 1,02 \text{ m}^2$ $= 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$
Casa de bombas de incêndio	$A < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$
Escada	$A < 6 \text{ m}^2 \rightarrow 100 \text{ VA}$ $= 100 \text{ VA}$

Tabela 17.12

Potência instalada	Tomadas de uso geral	
Casa de máquinas	$\frac{10,6 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 2,12$	$2 \times 100 \text{ VA}$
Casa de bombas de incêndio	$\frac{5,6 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 1,12$	$1 \times 100 \text{ VA}$

Tabela 17.13 Divisão dos circuitos (QDL serviço)

Circuitos de serviço (CS)	U (V)	P (VA)	$I_B = \frac{P}{V}$ (A)	f	$I_B = \frac{I_B}{f}$	S (mm²)		I_n (A)	Discriminação
						Vivos	PE		
S_1	127	900	7,1	0,8	8,9	1,5	1,5	15	Ilum. circ. (térreo)
S_2	127	900	7,1	0,8	8,9	1,5	1,5	15	Ilum. (subsolo e térreo)
S_3	127	800	6,3	0,8	7,9	2,5	2,5	15	TUGs (térreo)
S_4	127	900	7,1	0,8	8,9	1,5	1,5	15	Ilum. (estacion. SS)
S_5	127	1.100	8,7	0,8	10,8	2,5	2,5	15	TUGs (subsolo)
S_6	127	400	3,1	0,8	3,9	1,5	1,5	15	Ilumin. (cobertura)
S_7	127	1.300	10,2	0,8	12,8	2,5	2,5	15	TUGs (cobertura)
S_8	127	1.000	7,9	0,8	9,8	2,5	2,5	15	TUGs (pav.-tipo)
V	127	1.300	10,2	0,8	12,8	1,5	1,5	15	Ilum. escada (SS, térreo, pav.- tipo)
V_1	127	900	7,1	0,8	8,9	1,5	1,5	15	Ilum. circ. (SS, térreo, pav.- tipo)
M	127	500	3,9	0,8	4,9	1,5	1,5	15	Hall (térreo, pav.-tipo)
S_9	127	1.000	—	—	—	—	—	—	Reserva
TOTAL	—	11.000	—	—	—	—	—	—	—

Potência total instalada de circuitos de serviço (watts):

Pot. ilum. 6.800 W

Pot. tomadas $4.200 \times 0,8 = 3.360$ W

Pot. total 10.160 W

17.3.3 ESQUEMA VERTICAL

Cálculo dos condutores e dos eletrodutos:

a) QGLF/Serv. → Q.F. da bomba de recalque d'água:

$$l (m) = 15,5 \text{ m}$$

Bomba de recalque d'água 1 HP ——— 1.144 W

Pelo critério de queda de tensão (Tabela 4.24), sendo a alimentação trifásica $U = 220$ V e uma perda admissível de 2% nos condutores:

$1.144 \text{ W} \times 15,5 = 17.732 \text{ W} \times \text{m}$, que correspondem a um condutor de $1,5 \text{ mm}^2$. Adota-se como seção mínima 4 mm^2 .

Então, $4 \times 4,0 \text{ mm}^2 (3F + N) + 1 \times 4,0 \text{ mm}^2 (T)$

Sendo eletrodutos de PVC rígido, temos, na Tabela 4.19, que o diâmetro será de 20 mm.

b) QDL/Serv. → QDL/Porteiro:

Pot. inst. port. = 13.520 W

$$l(m) = 4,5 \text{ m}$$

$$13.520 \times 4,5 = 60.840 \text{ W} \times \text{m} \rightarrow 2,5 \text{ mm}^2$$

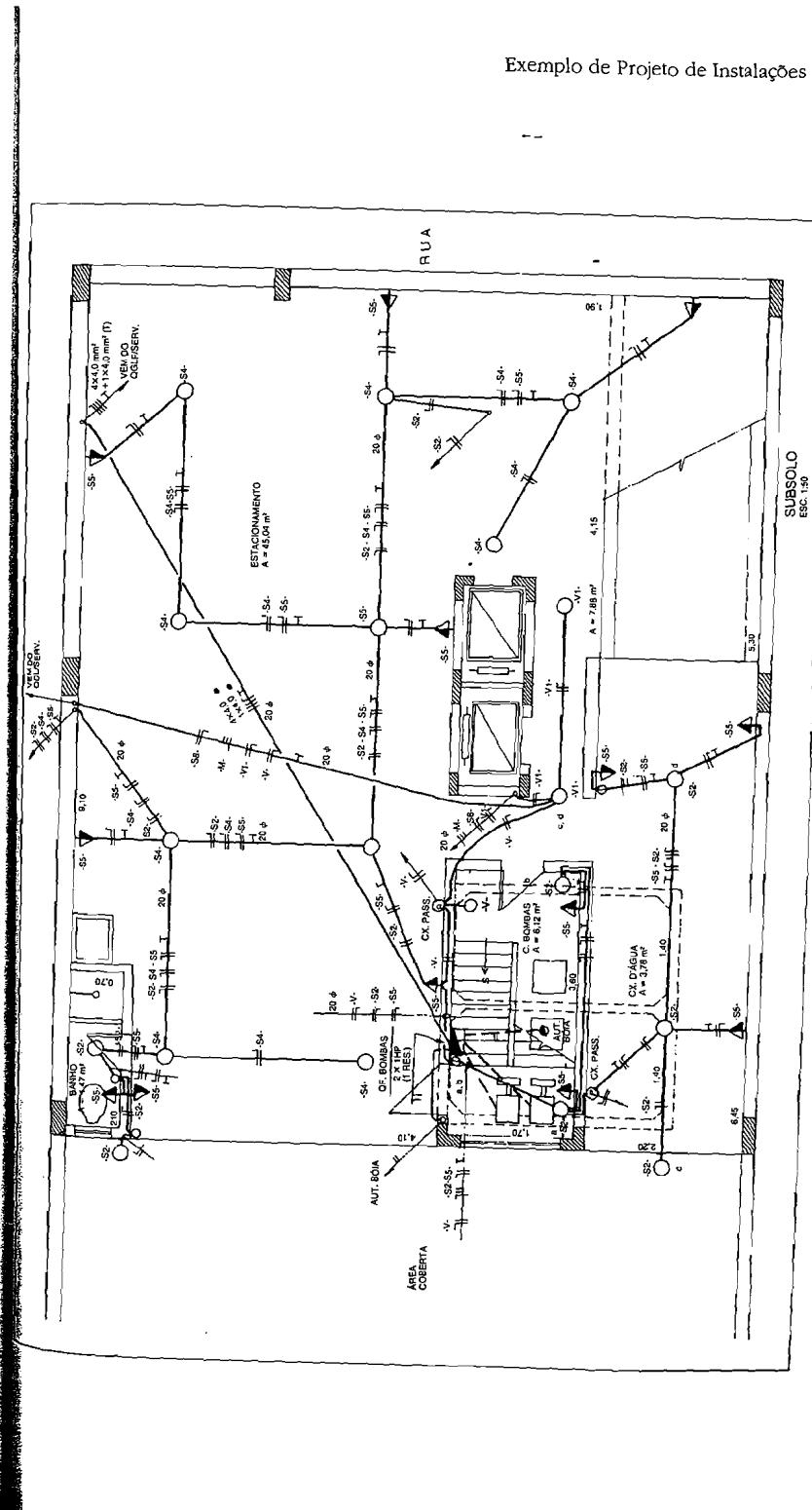


Fig. 17.1 Planta do subsolo
Notas: 1) Eletrodutos e fios sem indicação serão, respectivamente, $S = 1,5 \text{ mm}^2$ e $\phi 16 \text{ mm}$ (1/2").
2) Pontos de luz e tomadas sem designação terão a potência de 100 W.
3) Para o diâmetro do eletroduto, usar a Tabela 4.19 (Cap. 4).
4) Os circuitos de iluminação terão, no mínimo, fios de $1,5 \text{ mm}^2$.
5) Os circuitos de tomada serão enterrados com fios de $2,5 \text{ mm}^2$, no mínimo.

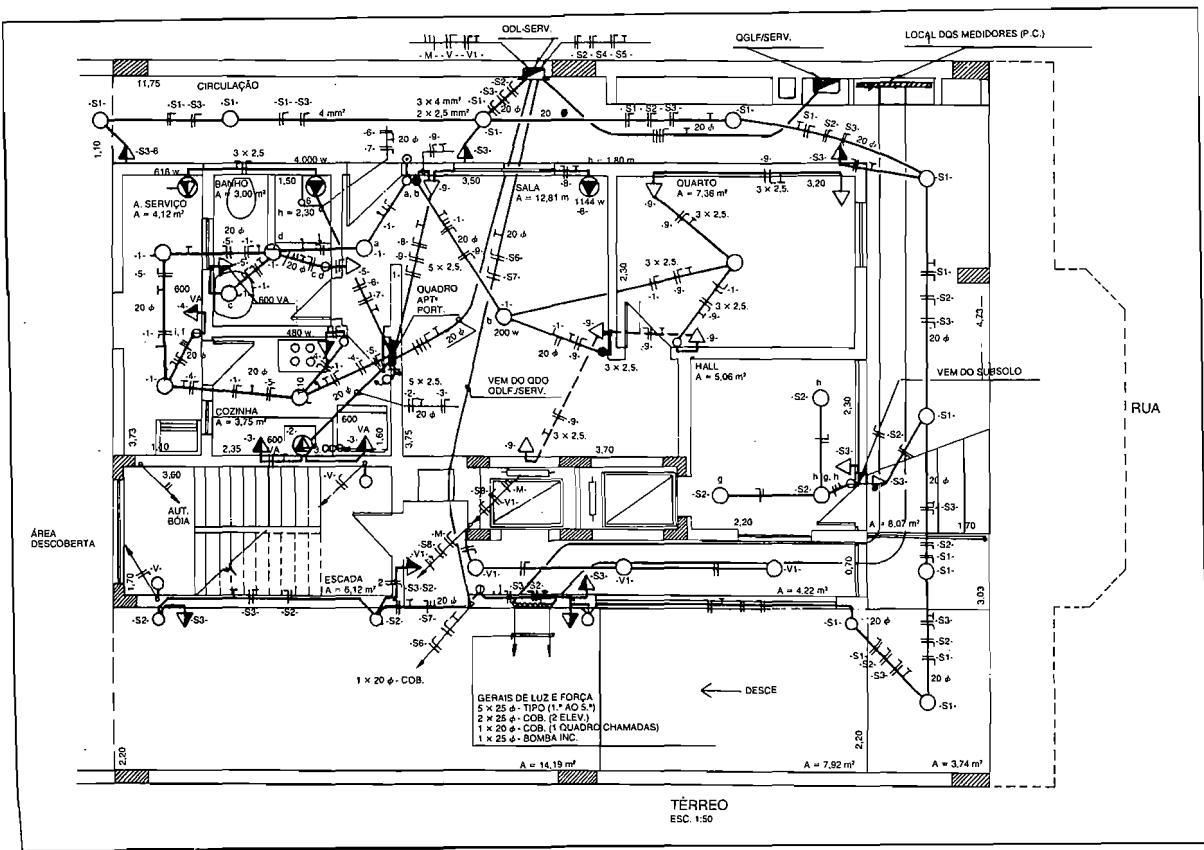


Fig. 17.2 Planta do térreo

Notas: 1) Eletrodutos e fios sem indicação serão, respectivamente, $S = 1,5 \text{ mm}^2$ e $\phi = 16 \text{ mm}$ ($1\frac{1}{2}$ ").
 2) Pontos de luz e tomadas sem designação terão a potência de 100 W.
 3) Para o diâmetro do eletroduto, usar a Tabela 4.19 (Cap. 4).
 4) Os circuitos de iluminação terão, no mínimo, fios de $1,5 \text{ mm}^2$.
 5) Os circuitos de tomada serão enfiados com fios de $2,5 \text{ mm}^2$, no mínimo.

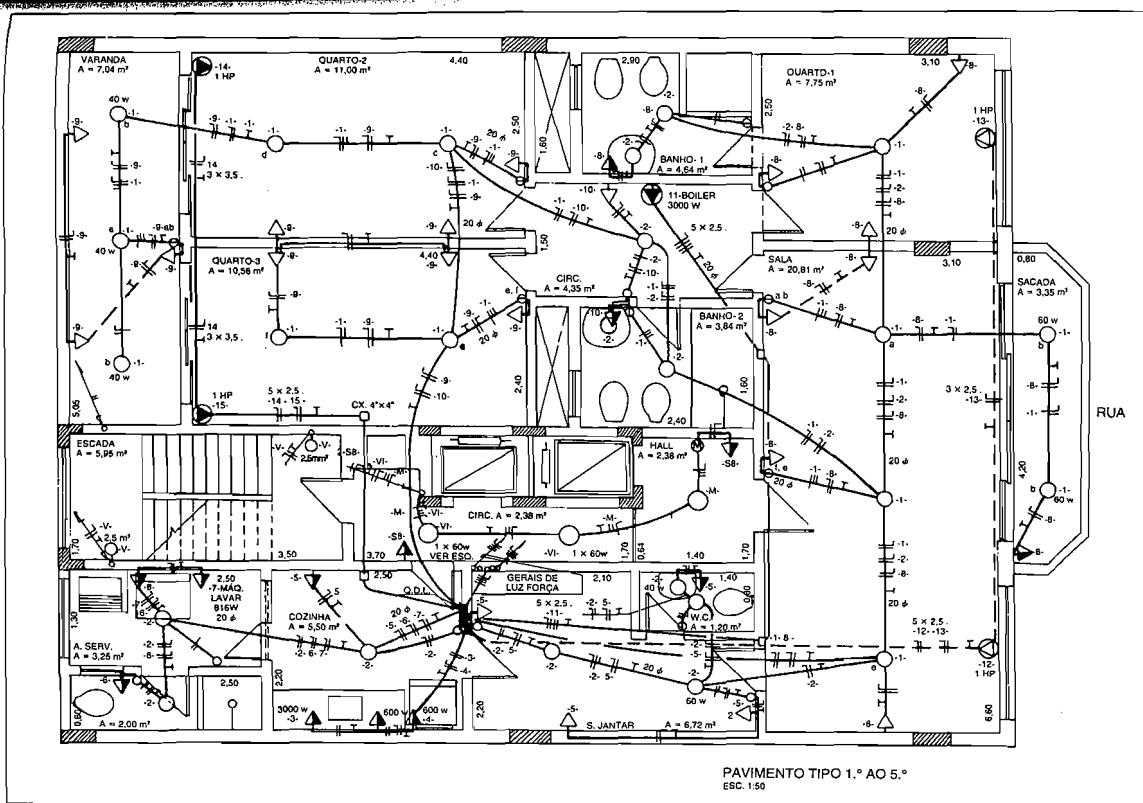


Fig. 17.3 Planta do pavimento-tipo

Notas: 1) Eletrodutos e fios sem indicação serão, respectivamente, $S = 1,5 \text{ mm}^2$ e $\phi = 16 \text{ mm}$ ($1\frac{1}{2}$ ").
 2) Pontos de luz e tomadas sem designação terão a potência de 100 W.
 3) Para o diâmetro do eletroduto, usar a Tabela 4.19 (Cap. 4).
 4) Os circuitos de iluminação terão, no mínimo, fios de $1,5 \text{ mm}^2$.
 5) Os circuitos de tomada serão enfiados com fios de $2,5 \text{ mm}^2$, no mínimo.

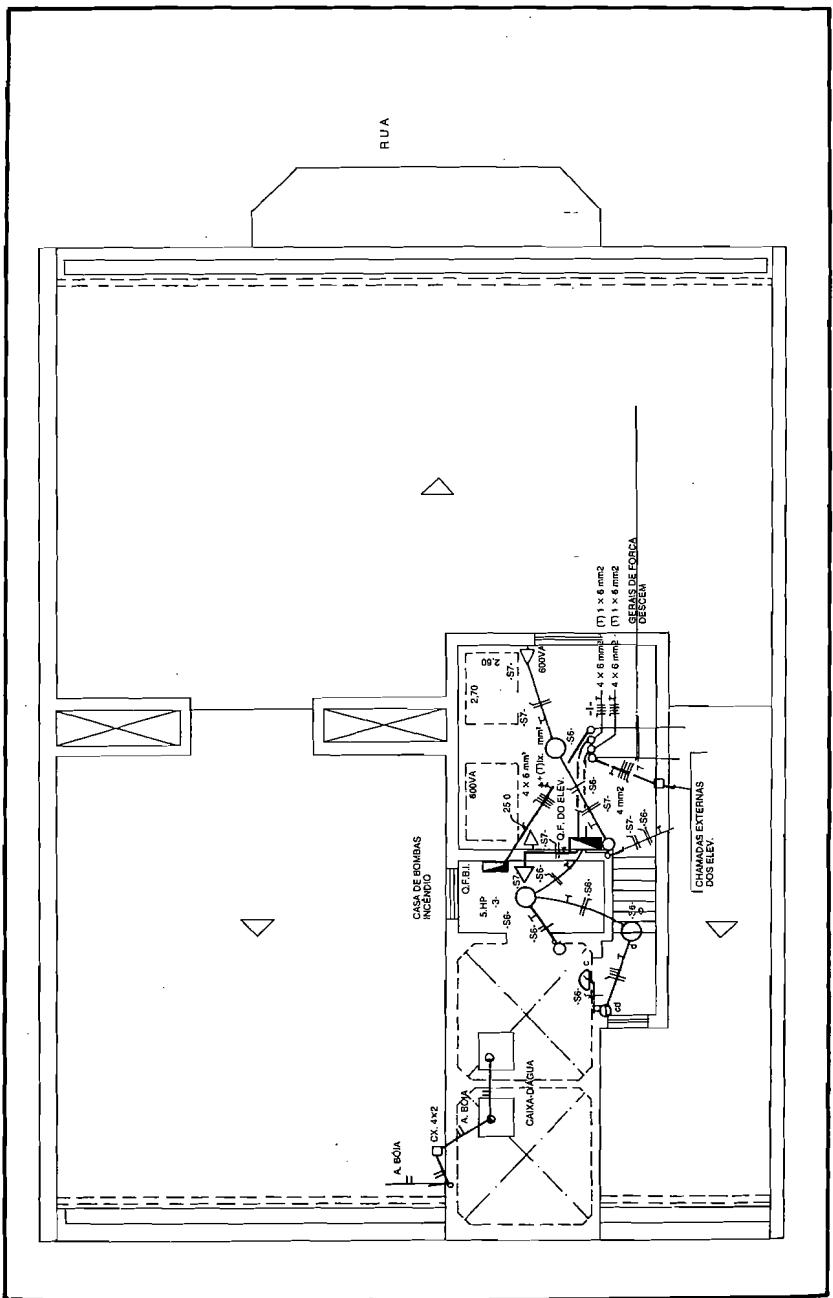


Fig. 17.4 Planta da cobertura.
Notas:
1) Eletrodutos e fios sem indicação serão, respectivamente, $S = 1,5 \text{ mm}^2$ e $\phi = 16 \text{ mm}$ (1/2").
2) Pontos de luz e tomadas sem designação terão a potência de 100 W.
3) Para o diâmetro do eletroduto, usar a Tabela 4.19 (Cap. 4).
4) Os circuitos de iluminação terão, no mínimo, fios de $1,5 \text{ mm}^2$.
5) Os circuitos de tomada serão enfadados com fios de $2,5 \text{ mm}^2$, no mínimo.

Logo, o condutor adotado é o de 4 mm^2 , e o eletroduto, de 20 mm .

c) QGLF/Serv. → QDL/Serv.:

$$l(\text{m}) = 4,0 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = \text{Pot. inst. port.} + \text{Pot. inst. circ. serv.} = 13.520 + 10.160 = 23.680 \text{ W}$$

Da Tabela 4.24: $23.680 \text{ W} \times 4,0 \text{ m} = 94.720 \text{ W} \cdot \text{m} \rightarrow 4,0 \text{ mm}^2$; eletroduto (Tabela 4.19) de 20 mm .

d) PC → QGLF/Serv.:

$$l(\text{m}) = 2,5 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = \text{Q.F. bomba-d'água} + \text{QDL/Port.} + \text{Circ. serv.} = 1.144 \text{ W} + 13.520 \text{ W} + 10.160 \text{ W} = 24.824 \text{ W}$$

$$24.824 \text{ W} \times 2,5 \text{ m} = 62.060 \text{ W} \cdot \text{m} \rightarrow 2,5 \text{ mm}^2$$

Então: Condutor: 4 mm^2
Eletroduto: 20 mm

e) PC → QDL 1.º pavimento:

$$l(\text{m}) = 15 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 18.452 \text{ W}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] \times l = 18.452 \text{ W} \times 15 \text{ m} = 276.780 \text{ W} \cdot \text{m} \rightarrow \text{que correspondem a um condutor de } 10 \text{ mm}^2$$

Pela Tabela 4.19, achamos o eletroduto de 25 mm de diâmetro.

f) PC → QDL 2.º pavimento:

$$l(\text{m}) = 18,15 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 18.452 \text{ W}$$

Condutores: 16 mm^2
Eletroduto: 32 mm

g) PC → QDL 3.º pavimento:

$$l(\text{m}) = 21,3 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 18.452 \text{ W}$$

Condutores: 16 mm^2
Eletroduto: 32 mm

h) PC → QDL 4.º pavimento:

$$l(\text{m}) = 24,45 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 18.452 \text{ W}$$

Condutores: 25 mm^2
Eletroduto: 40 mm

i) PC → QDL 5.º pavimento:

$$l(\text{m}) = 27,6 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 18.452 \text{ W}$$

Condutores: 25 mm^2
Eletroduto: 40 mm

j) PC → Q.F. bomba de incêndio:

5 HP → 5.4 kVA , que como fator de potência para o projeto ($\cos \varphi = 0,8$) corresponde a 4.320 W

$$l(\text{m}) = 33,5 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 4.320 \text{ W}$$

Condutores: 6 mm^2
Eletroduto: 25 mm

k) PC → Q. chamadas ext. elevadores:

$$l(\text{m}) = 32,5 \text{ m}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] = 3.000 \text{ W}$$

$$\Sigma [P(\text{watts})] \times l(\text{m}) = 97.500 \text{ W} \cdot \text{m}$$

o que nos conduz a

Condutores: 4 mm^2
Eletroduto: 20 mm

m) PC → Q.F. elevadores:
 $\sum [P(\text{watts})] = 4.320 \text{ W}$
 $l(\text{m}) = 33 \text{ m}$
 $\sum [P(\text{watts})] \times l(\text{m}) = 142.560 \text{ W} \times \text{m}$
que nos dá

Condutores: 6 mm²
Eletroduto: 25 mm

17.3.4 CÁLCULO DA DEMANDA DO PROJETO

Demandas do apartamento-tipo (D_{AP})

Apartamento-tipo:

Potência instalada: 18.452 W

Iluminação e tomadas	7.260 W
1 boiler	3.000 W
1 torneira elétrica	3.000 W
4 aparelhos de ar-cond. tipo janela	4 cv
1 máq. lavar	616 W

Iluminação e tomadas:

$$d_1 = 1(0,86 + 0,75 + 0,66 + 0,59 + 0,52 + 0,45 + 0,40) + 0,26(0,35)$$

$$d_1 = 4,23 + 0,091 = 4,321 \text{ kW}$$

Aquecimento:

$$d_2 = 6,0 \times 0,75 = 4,5 \text{ kW}$$

Ar-condicionado tipo janela:

$$d_3 = 4 \times 1,0 = 4,0 \text{ cv}$$

Motor elétrico:

$$d_5 = 0,77 \times 1,0 = 0,77 \text{ kVA}$$

$$D_{AP} = d_1 + d_2 + 1,5 d_3 + d_5 = 4,3 + 4,5 + 1,5(4) + 0,77 = 15,57 \text{ kVA}$$

$$D_{AP} = 15,57 \text{ kVA.}$$

17.3.4.1 Demanda de Serviço

Potência instalada:

Apartamento do porteiro: 13.520 W

Circuitos de serviço: 10.160 W

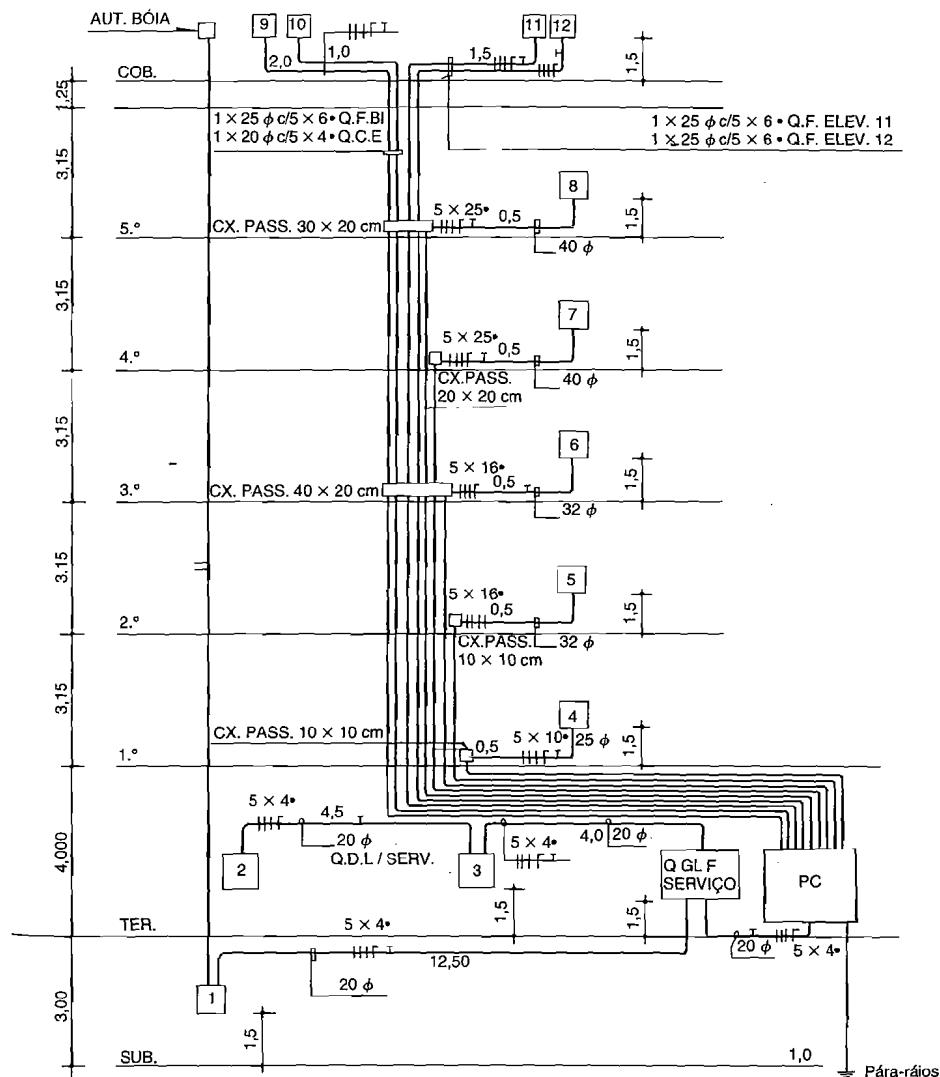
Q. chamadas ext.: 3.000 W

Bomba de recalque d'água: 1 HP

Bomba de incêndio: 5 HP

Q.F. elevador: 2 × 5 HP

$$\text{TOTAL} 25.680 \text{ W} + 16 \text{ HP}$$



Quadros			
Número	Descrição	Potências	Distâncias
1	QF Bomba-d'água	1 HP	15,5 m
2	QDL Porteiro	13.520 W	4,4 m
3	QDL Serviço	23.680 W	4,0 m
4	QDL 1.º Pavimento	18.452 W	1,15 m
5	QDL 2.º Pavimento	18.452 W	18,15 m
6	QDL 3.º Pavimento	18.452 W	21,3 m
7	QDL 4.º Pavimento	18.452 W	24,45 m
8	QDL 5.º Pavimento	18.452 W	27,6 m
9	QF Bombas Inc.	5,0 HP	33,5 m
10	Q. Cham. Ext. Elev.	3.000 W	32,5 m
11	QF Elevador	5 HP	33 m
12	QF Elevador	5 HP	33 m

Fig. 17.5 Esquema vertical

Tabela 17.14 Quadro de carga do QDL de serviço

Q.D.L. DE SERVICO	Circ.	LUZ (VA)						TOMADAS (VA)						CARGA						CABOS (mm ²)			DISJUNTOR	OBSERVAÇÕES	
		40	60°	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 600	2 × 600	TUE	Watts	HP/CV	FASE-A	FASE-B	FASE-C	NEUTRO	TERRA	ALIMENTAÇÃO					
S1			9										900		900			1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Illum. (térreo)			
S2			9										900		900			1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Illum. (SS e térreo)			
S3						8							640		640			2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (térreo)			
S4			9										900		900			1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Illum. (SS)			
S5						11							880		880			2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (SS)			
S6			4										400		400			1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Illum. (cobertura)			
S7						1			2				1.040					1.040	2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (cobertura)		
S8						8	!						800						2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (pav.-tipo)		
V			13										1.300		1.300	800		1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Illum. (escada)			
VI			9										900					900	1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Illum. (circulação)		
M			5										500					500	1,5	1,5	1,5	15 A-1 P	Hall (térreo, pav.-tipo)		
Sq													RESERVA					1.000		1.000	—	—	—	15 A-1 P	Reserva
P														13.250		4.507	4.507	4.507	4,0	4,0	4,0	40 A-3 P	Apart. porto		
													23.680		7.747	8.087	7.847	4,0	4,0	4,0	70 A-3 P	Geral			

Tabela 17.15 Quadro de carga do QDL do apartamento-tipo

Q.D.L. (APARTAMENTO-TIPO)	Circ.	LUZ (VA)						TOMADAS (VA)						CARGA						CABOS (mm ²)			DISJUNTOR	OBSERVAÇÕES	
		40	60	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 600	2 × 600	TUE	Watts	HP/CV	FASE-A	FASE-B	FASE-C	NEUTRO	TERRA	ALIMENTAÇÃO					
1	3	2	8										1.040		1.040			1,5	1,5	1,5	10 A-1 P	Illuminação			
2	1	1	10										1.100			1.100		1,5	1,5	1,5	10 A-1 P	Illuminação			
3													1	3.000			1.500	1.500	2,5	2,5	2 × 2,5	15 A-2 P	TUE (cozinha)		
4													1	960			960		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (cozinha)		
5						2		1					800				800		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (coz., sala jantar e WC)		
6													1	960				960	2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (banh. área serviço)		
7													1	616			616		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUE (máq. lavar)		
8						8		1					1.120				1.120	2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (sala, quarto 1, banh. t., sacada)			
9						9							720		720			2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (quartos 2 e 3, varanda)			
10						1		1					560				560		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (cir. banh. 2)		
11													1	3.000			1.500	1.500	2,5	2,5	2 × 2,5	15 A-2 P	Boiler		
12													1	1 HP			1.144		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	Ar-condicionado		
13													1	1 HP			1.144		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	Ar-condicionado		
14													1	'1 HP				1.144	2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	Ar-condicionado		
15													1	1 HP			1.144		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	Ar-condicionado		
16													RESERVA				1.000		1.144		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	Ar-condicionado
17													RESERVA				1.000		—	—	—	15 A-1 P	RESERVA		
18													RESERVA				1.000		1.000	—	—	—	15 A-1 P	RESERVA	
													Total												
														16.876	4 HP	6.980	7.248	7.244	10,0	10,0	3 × 10,0	70 A-3 P	1º pavimento		
																		16,0	16,0	3 × 16,0	70 A-3 P	2º pavimento			
																		16,0	16,0	3 × 16,0	70 A-3 P	3º pavimento			
																		25,0	25,0	3 × 25,0	70 A-3 P	4º pavimento			
																		25,0	25,0	3 × 25,0	70 A-3 P	5º pavimento			

Tabela 17.16 Quadro de carga do QDL do apartamento do porteiro

N. Circ.	LUZ (VA)				TOMADAS (VA)						CARGA				CABOS (mm ²)			DISJUNTOR	OBSERVAÇÕES		
	40	60	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 600	2 × 600	TUE	Watts	HP/CV	FASE-A	FASE-B	FASE-C	NEUTRO	TERRA	ALIMENTAÇÃO		
1			6	1								800		800			1,5	1,5	1,5	10 A-1 P	Iluminação
2											1	3.000		1.500	1.500	2,5	2,5	2 × 2,5	15 A-2 P	TUE (cozinha)	
3								2				960		960		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (cozinha)	
4								2				960		960		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (coz., 4. serv.)	
5					1		1					560		560		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (banh. entrada)	
6											1	4.000		2.000		2.000	4,0	4,0	2 × 4,0	25 A-2 P	TUE (chuva elétrica)
7											1	616		616			2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUE (máq. lavar)
8											1	1 HP			1.144	2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	Arcionado	
9					6							480		480		2,5	2,5	2,5	15 A-1 P	TUG (sala e quarto)	
10					RESERVA							1.000		1.000			—	—	—	15 A-1 P	RESERVA
Total												12.376	1 HP	4.416	4.460	4.644	4,0	4,0	4,0	40 A-3 P	Geral

Tabela 17.17 Quadro de carga do QGLF de serviço

N. Circ.	LUZ (VA)				TOMADAS (VA)						CARGA				CABOS (mm ²)			DISJUNTOR	OBSERVAÇÕES		
	40	60	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 100	2 × 100	3 × 100	1 × 600	2 × 600	TUE	Watts	HP/CV	FASE-A	FASE-B	FASE-C	NEUTRO	TERRA	ALIMENTAÇÃO		
1												23.680		7.100	8.290	8.290	4,0	4,0	4,0	70 A-3 P	QDL de serviço
2												1 HP		1.144			4,0	4,0	4,0	15 A-1 P	QF de bomba dágua
Total												24.824	1 HP	8.244	8.290	8.290	4,0	4,0	4,0	80 A-3 P	GERAL

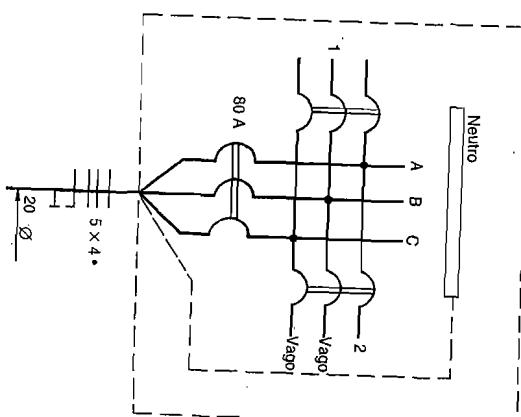


Fig. 17.6 Diagrama unifilar QDL serviço

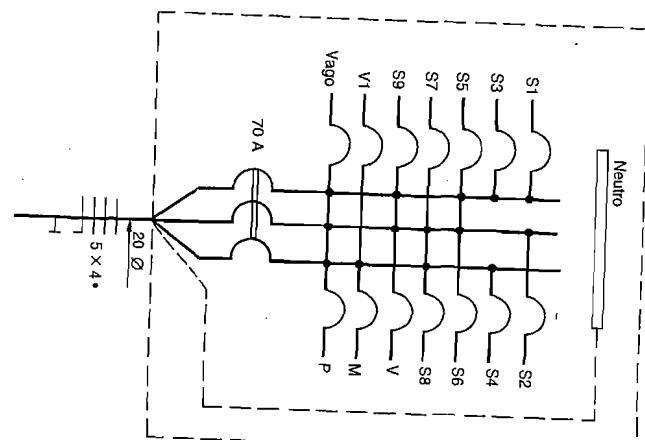


Fig. 17.7 Diagrama unifilar QGLF serviço

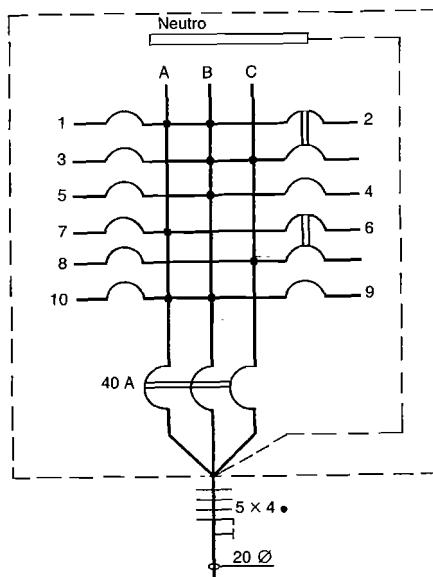


Fig. 17.8 Diagrama unifilar QDL apartamento do porteiro

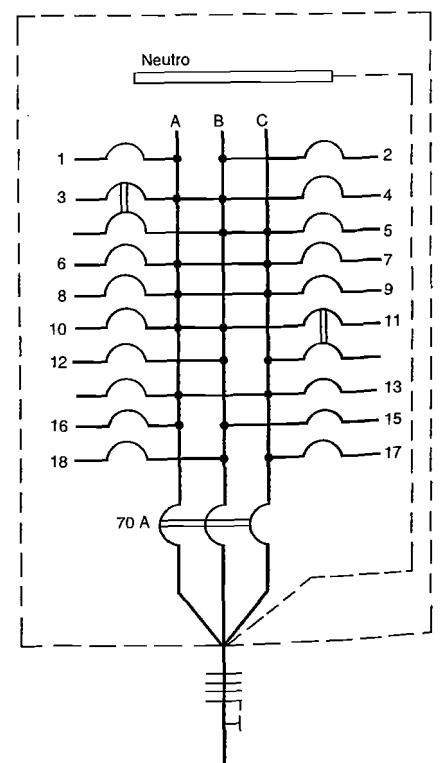


Fig. 17.9 Diagrama unifilar QDL apartamento-tipo

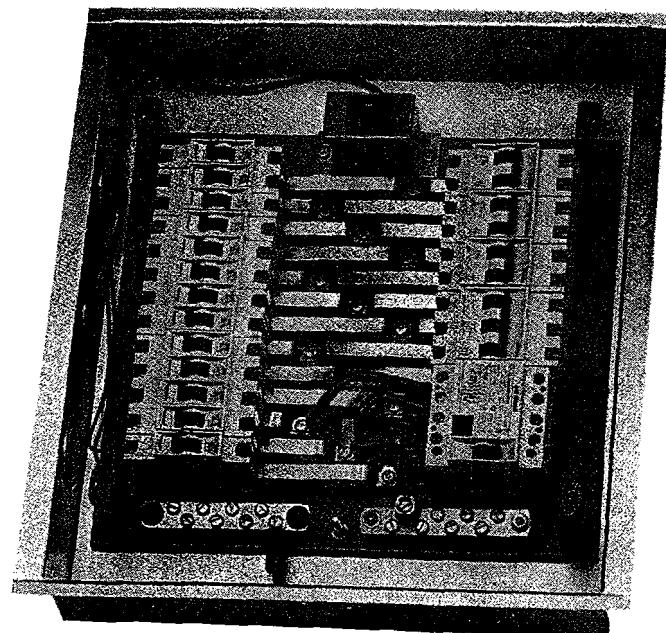


Fig. 17.10 Vista frontal de um quadro de luz e força, sem as portas. Note-se fiel reprodução dos desenhos de montagem dos diagramas unifilares projetados. Fabricante Thomeu

Iluminação e tomadas:

$$\text{Pot. ilum. port.} = 4.760 \text{ W}$$

$$d_1 \text{ serv.} = d_1 \text{ port.} + d_1 \text{ circ. serviço} + d_1 \text{ Q. cham. ext.}$$

$$d_1 \text{ port.} = (0,86 + 0,75 + 0,66 + 0,59) + 0,76(0,52) = 3,25 \text{ kW}$$

$$d_1 \text{ circ. serv.} = 10,160 \times 0,86 = 8,73 \text{ kW}$$

$$d_1 \text{ Q. cham. ext.} = 3,0 \times 0,86 = 2,58 \text{ kW}$$

$$d_1 = 14,56 \text{ kW}$$

Aquecimento:

$$d_2 (\text{kW}) = 7 \times 0,75 = 5,25 \text{ kW}$$

Ar-cond. tipo janela (incluída na potência apart. porteiro)

$$d_3 = 1,0 \times 1 = 1 \text{ cv}$$

Motores elétricos:

Máq. lavar ap. porteiro (incluída na pot. apart. porteiro): 770 VA

Bomba-d'água: 1 HP

Bomba de incêndio: 5 HP

Q.F. elevador: 2 × 5 HP

Total: 770 VA + 16 HP

$$16 \text{ HP} \rightarrow 13,44 \text{ kVA}$$

$$d_5 (\text{kVA}) = (13,44 + 0,77) \times 0,8 = 11,36 \text{ kVA}$$

Instalações Elétricas

Logo,

$$D_{\text{SERV.}} (\text{kVA}) = 14,56 + 5,25 + 1,5(1) + 11,36 = 32,67 \text{ kVA}$$

$$D_{\text{SERV.}} = 32,67 \text{ kVA}$$

Agrupamento:

Cálculo da carga total dos apartamentos:

Iluminação e tomadas:

$$5 \times (7.260 \text{ W}) = 36.300 \text{ W}$$

$$d_1 = 1 \times 5,16 + (36,3 - 10) 0,24 = 11,47 \text{ kW}$$

Aquecimento:

$$d_2 = d(\text{boiler}) + d(\text{torneira}) \\ = (5 \times 3 \times 0,62) + (5 \times 3 \times 0,62) = 18,6 \text{ kW}$$

Ar-condicionado tipo janela:

$$d_3 = 5 \times 4 \times 0,85 = 17 \text{ cv}$$

Motores elétricos:

$$d_5 = 5 \times 0,77 \times 0,8 = 3,08 \text{ kVA}$$

Logo,

$$D_{\text{AG}} = 11,47 + 18,6 + 1,5(17) + 3,08 = 58,65 \text{ kVA}$$

$$D_{\text{AG}} = 58,65 \text{ kVA}$$

Sendo a alimentação do medidor de serviço derivada antes da proteção geral, então:

$$D_{\text{PG}} = D_{\text{AG}} = 58,65 \text{ kVA}$$

17.3.4.2 Demanda do Ramal de Entrada

Iluminação e tomadas:

$$\text{Apartamento-tipo: } 5 \times 7.260 \text{ W} = 36.300 \text{ W}$$

Serviço:

$$\text{Ap. porteiro} = 4.760 \text{ W}$$

$$\text{Circ. serv.} = 10.160 \text{ W}$$

$$\text{Q. cham. ext.} = 3.000 \text{ W}$$

$$d_1 = 5,16 + (36,3 - 10,0) (0,24) + 3,25 + 8,73 + 2,58 = 26,03 \text{ kW}$$

Aquecimento:

$$d_2 (\text{kW}) = 18,6 + 5,25 = 23,85 \text{ kW}$$

Tabela 17.18 Relação de materiais para instalação elétrica

Item	Especificações	Unid.	Quant.
1	Arruela $\frac{1}{2}"$	pç.	430
2	Arruela $\frac{3}{4}"$	pç.	278
3	Arruela 1"	pç.	26
4	Arruela 1 $\frac{1}{4}"$	pç.	12
5	Arruela 1 $\frac{1}{2}"$	pç.	8
6	Bucha para eletroduto de $\frac{1}{2}"$	pç.	430
7	Bucha para eletroduto de $\frac{3}{4}"$	pç.	278
8	Bucha para eletroduto de 1"	pç.	26
9	Bucha para eletroduto de 1 $\frac{1}{4}"$	pç.	12
10	Bucha para eletroduto de 1 $\frac{1}{2}"$	pç.	8
11	Eletroduto de PVC rígido (16 mm)	m	1.300
12	Eletroduto de PVC rígido (20 mm)	m	502
13	Eletroduto de PVC rígido (25 mm)	m	105
14	Eletroduto de PVC rígido (32 mm)	m	40
15	Eletroduto de PVC rígido (40 mm)	m	52
16	Luva para eletroduto PVC rígido (16 mm)	pç.	118
17	Luva para eletroduto PVC rígido (20 mm)	pç.	233
18	Luva para eletroduto PVC rígido (25 mm)	pç.	75
19	Luva para eletroduto PVC rígido (32 mm)	pç.	23
20	Luva para eletroduto PVC rígido (40 mm)	pç.	28
21	Curva 90° para eletroduto PVC rígido (16 mm)	pç.	210
22	Curva 90° para eletroduto PVC rígido (20 mm)	pç.	75
23	Curva 90° para eletroduto PVC rígido (25 mm)	pç.	27
24	Curva 90° para eletroduto PVC rígido (32 mm)	pç.	9
25	Curva 90° para eletroduto PVC rígido (40 mm)	pç.	12
26	Caixa de ferro esmalt. octogonal 3" x 3" (75 x 75)	pç.	42
27	Caixa de ferro esmalt. octogonal, fundo móvel 4" x 4" (100 x 100)	pç.	184
28	Caixa de ferro esmaltada 4" x 4" (100 x 50)	pç.	235
29	Caixa de ferro esmalt. 4" x 4" (100 x 100)	pç.	40
30	Tampa de redução 4 x 4 p/4 x 2	pç.	23
31	Fio com isolação PVC, bitola 1,5 mm ²	m	5.993
32	Fio com isolação PVC, bitola 2,5 mm ²	m	1.291
33	Fio com isolação PVC, bitola 4,0 mm ²	m	300
34	Cabo com isolação PVC, cobert. PVC, 6,0 mm ²	m	550
35	Cabo com isolação PVC, cobert. PVC, 10 mm ²	m	86
36	Cabo com isolação PVC, cobert. PVC, 16 mm ²	m	220
37	Cabo com isolação PVC, cobert. PVC, 25 mm ²	m	286
38	Fita isolante	Rolo de 20 m	1
39	Fita isolante amarela	Rolo	1
40	Fita isolante verde	Rolo	1
41	Fita isolante vermelha	Rolo	34
42	Interruptor, 1 seção (simples), 10 A	pç.	6
43	Interruptor conj. com tomada (4 x 4)	pç.	41
44	Interruptor duas seções (4 x 4)	pç.	183
45	Tomada simples 10 A	pç.	1
46	Conj. interruptor 3 W + tomada + interruptor simples	pç.	7
47	Conj. interruptor duplo + tomada	pç.	1
48	Interruptor 3 W	pç.	21
49	Tomada 1 HP	pç.	

Tabela 17.18 Relação de materiais para instalação elétrica (cont.)

Item	Especificações	Unid.	Quant.
50	Tomada 3.000 W	pç.	11
51	Tomada 4.000 W	pç.	1
52	Minuteria	pç.	5
53	Cigarra	pç.	6
54	Campainha	pç.	6
55	Automático de bôia	pç.	3
56	Caixas de passagem 20 × 20 cm	pç.	1
57	Caixas de passagem 10 × 10 cm	pç.	2
58	Caixas de passagem 30 × 20 cm	pç.	1
59	Caixas de passagem 40 × 20 cm	pç.	1
60	Quadro de distribuição em chapa de ferro, com porta e fechadura, barramento trifásico e neutro, com disj. geral 3 P × 70 A; 2 chaves parciais 1 P × 10 A; 14 chaves parciais 1 P × 15 A; 2 chaves parciais 2 P × 15 A	pç	5
61	Idem, com chave geral 3 P × 70 A; 1 chave parcial 3 P × 40 A; 12 parciais 1 P × 15 A	pç.	1
62	Idem, com disj. geral 3 P × 40 A; 1 parcial 2 P × 25 A; 1 parcial 2 P × 15 A; 7 parciais 1 P × 15 A	pç.	1
63	Idem, com disj. geral 3 P × 80 A; 1 parcial 3 P × 70 A; 1 parcial 1 P × 15 A	pç.	1

Ar-condicionado tipo janela:

$$d_3(\text{cv}) = [(5 \times 4 \text{ cv} \times 0,85) + 1] 0,85 = 15,3 \text{ cv}$$

Motores:

$$d_5(\text{kVA}) = [(6 \times 0,77) + 13,44] 0,7 = 12,64 \text{ kVA}$$

Logo,

$$D_{\text{RAMAL ENTRADA}} = 26,03 + 23,85 + 1,5(15,3) + 12,64 = 85,42 \text{ kVA}$$

17.3.4.3 Dimensionamento da Proteção (Tabela 14.3)

Proteção geral: $D = 58,65 \text{ kVA}$

$$41,4 \text{ kVA} < D \leq 60,0 \text{ kVA}$$

Condutores: $4 \times 50 \text{ mm}^2 + (\text{T}) 35 \text{ mm}^2$
(PVC 70°C)

Base fusível: 200 A

Elo fusível: 200 A

Ramal de entrada: $D = 85,42 \text{ kVA}$

$$78,6 \text{ kVA} < D \leq 90,8 \text{ kVA}$$

Condutores: $4 \times 95 \text{ mm}^2 + (\text{T}) 70 \text{ mm}^2$
(PVC 70°C)

Base fusível: 400 A

Elo fusível: 300 A

18 Unidades e Conversões de Unidades

18.1 UNIDADES BÁSICAS DO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES — SI. SEGUNDO A RESOLUÇÃO — CONMETRO 01/82

Comprimento: metro (m)

Massa: quilograma (kg)

Tempo: segundo (s)

Corrente elétrica: ampère (A)

Temperatura termodinâmica: kelvin (K)

Quantidade de matéria: mol (mol)

Intensidade luminosa: candela (cd)

18.2 PREFIXOS NO SISTEMA INTERNACIONAL (OS MAIS USUAIS)

NOME	SÍMBOLO	FATOR PELO QUAL A UNIDADE É MULTIPLICADA
exa	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
peta	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
tera	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
quilo	k	$10^3 = 1\ 000$
hecto	h	$10^2 = 100$
deca	da	10
deci	d	$10^{-1} = 0,1$
centi	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
micro	μ	$10^{-6} = 0,000\ 001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001$
atto	a	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

18.3 UNIDADES ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS

Corrente elétrica — ampère — A

Carga elétrica (quantidade de eletricidade) — coulomb — C

Tensão elétrica (diferença de potencial) — volt — V

Gradiente de potencial (intensidade de campo elétrico) — volt por metro — V/m
 Resistência elétrica — ohm — Ω (é também unidade de *reatância* e de *impedância* em elementos de circuito percorridos por corrente alternada)
 Resistividade — ohm × metro — Ω×m
 Condutância — siemens — S (é também unidade de *admitância* e *susceptância* em elementos percorridos por corrente alternada)
 Condutividade — siemens por metro — S/m
 Capacitância — farad — F
 Indutância — henry — H
 Potência aparente — volt × ampère — VA
 Potência reativa — volt × ampère reativo — VAr
 Indução magnética — tesla — T
 Fluxo magnético — weber — Wb
 Intensidade de campo magnético — ampère por metro — A/m
 Relutância — ampère por weber — A/Wb

18.4 TABELA DE FATORES DE CONVERSÃO

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Acre	0,02471	Are
Are	100	Metro quadrado
Atmosfera	76	Centímetros de coluna de mercúrio
Atmosfera	10,333	Quilograma-força por m ²
Atmosfera	14,70	Libra por pol. quadrada
Atmosfera	33,9	Pé de altura d'água
Cavalo vapor (HP)	1,014	Cavalo vapor (métrico)
Cavalo vapor (cv)	0,736	Quilowatt
Cavalo vapor (cv)	33,000	Pé · libra por minuto
Cavalo vapor (cv)	550	Pé · libra por segundo
Centiare	1,0	m ²
Centímetro	0,3937	Polegada
Centímetro quadrado	$1,076 \times 10^{-3}$	Pé quadrado
Centímetro quadrado	0,1550	Polegada quadrada
Centímetro cúbico	$2,642 \times 10^{-4}$	Galões americanos
Centímetro cúbico	$3,531 \times 10^{-5}$	Pé cúbico
Centímetro cúbico	$6,102 \times 10^{-2}$	Polegada cúbica
Centímetro cúbico	$1,308 \times 10^{-6}$	Jarda cúbica

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Centímetro por segundo	0,032 81	Pé por segundo
Dina	$1,02 \times 10^{-3}$	Grama-força
Galão americano	3,785	Centímetro cúbico
Galão americano	3,785	Litro
Galão americano	$3,785 \times 10^{-3}$	Metro cúbico
Galão americano	0,1337	Pé cúbico
Galão americano	231	Polegada cúbica
Galão americano	$4,951 \times 10^{-3}$	Jarda cúbica
Galão americano p/minuto	0,063 08	Litro por segundo
Galão americano p/minuto	$2,228 \times 10^{-3}$	Pé cúbico por segundo
Grama-força	980,7	Dina
Jarda	91,44	Centímetro
Jarda	0,9144	Metro
Jarda	3,0	Pé
Jarda	36,0	Polegada
Jarda quadrada	0,8361	Metro quadrado
Jarda cúbica	764,6	Litro
Jarda cúbica	0,7646	Metro cúbico
Jarda cúbica por minuto	12,74	Litro por segundo
Jarda cúbica por minuto	0,45	Pé cúbico por segundo
Libra	0,4536	Quilograma
Libra	444,8	Dina
Libra de água	0,016 02	Pé cúbico
Libra de água	27,68	Polegada cúbica
Libra por pé	1,488	Quilograma-força por metro
Libra por pé quadrado	4,882	Quilograma-força por m ²
Libra por pé cúbico	0,016 02	Grama por cm ³
Libra por pé cúbico	16,02	Quilograma-força por m ³
Libra por pé cúbico	$5,787 \times 10^{-4}$	Libra por pol. cúbica
Libra por polegada	178,6	Grama por centímetro

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Libra por pol. quadrada	0,07	Quilograma-força por cm ²
Libra por pol. quadrada	2,307	Pé de altura d'água
Libra por pol. quadrada	2,036	Polegada de mercúrio
Libra por pol. cúbica	27,68	Grama por cm ³
Libra por pol. cúbica	$2,768 \times 10^{-4}$	Quilograma por m ³
Litro	0,2642	Galão americano
Litro	0,035 31	Pé cúbico
Litro	61,02	Polegada cúbica
Litro	0,2642	Galão americano
Litro	$1,308 \times 10^{-3}$	Jardas cúbicas
Litro por minuto	$4,503 \times 10^{-3}$	Galão por segundo
Litro por minuto	$5,885 \times 10^{-4}$	Pé cúbico por segundo
Log ₁₀ N	2,303	Log _e N
Log _e N	4,343	Log ₁₀ N
Metro	3,281	Pé
Metro	39,37	Polegada
Metro	1,094	Jarda
Metro quadrado	$2,471 \times 10^{-4}$	Acre
Metro quadrado	$3,861 \times 10^{-7}$	Milha quadrada
Metro quadrado	10,76	Pé quadrado
Metro quadrado	1,196	Jarda quadrada
Metro cúbico	1057	Quarto (líquido)
Metro cúbico	264,2	Galão americano
Metro cúbico	35,31	Pé cúbico
Metro cúbico	61023	Polegada cúbica
Metro cúbico	1,308	Jarda cúbica
Metro por minuto	1,667	Centímetro por segundo
Metro por minuto	0,06	Quilômetro por hora
Metro por minuto	0,037 28	Milha por hora
Metro por minuto	3,281	Pé por minuto

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Metro por minuto	0,054 68	Pé por segundo
Metro por segundo	3,6	Quilômetro por hora
Metro por segundo	0,06	Quilômetro por segundo
Metro por segundo	2,237	Milha por hora
Metro por segundo	0,037 28	Milha por minuto
Metro por segundo	196,8	Pé por minuto
Metro por segundo	3,281	Pé por segundo
Mícron	1×10^{-4}	Centímetro
Milímetro	0,039 39	Polegada
Milímetro quadrado	$1,550 \times 10^{-3}$	Polegada quadrada
Milha	$1,609 \times 10^5$	Centímetro
Milha	1,609	Quilômetro
Milha	1760	Jarda
Milha quadrada	2,590	Quilômetro quadrado
Milha por hora	1,609	Quilômetro por hora
Milha por hora	26,82	Metro por minuto
Milha por hora	0,8684	Nó por hora
Milha por hora	88	Pé por minuto
Milha por hora	1,467	Pé por segundo
Milha por minuto	2,682	Centímetro por segundo
Milha por minuto	1,609	Quilômetro por minuto
Milha por minuto	0,8684	Nó por minuto
Newton	101,972	Grama-força
Nó	1,853	Quilômetro
Nó	1,152	Milha
Pé	30,48	Centímetro
Pé	0,3048	Metro
Pé	12	Polegada
Pé quadrado	929	Centímetro quadrado
Pé quadrado	0,0929	Metro quadrado

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Pé quadrado	144	Polegada quadrada
Pé cúbico	$2,832 \times 10^4$	Centímetro cúbico
Pé cúbico	7,481	Galão americano
Pé cúbico	28,32	Litro
Pé cúbico	0,028 32	Metro cúbico
Pé cúbico	1728	Polegada cúbica
Pé cúbico	0,038 04	Jarda cúbica
Pé cúbico por minuto	472	cm^3 por segundo
Pé cúbico por minuto	0,1247	Galão por segundo
Pé cúbico por minuto	62,4	Libra de água por minuto
Pé cúbico por minuto	0,4720	Litro por segundo
Pé cúbico por segundo	448,8	Galão americano por minuto
Pé cúbico por segundo	28,32	Litro por segundo
Pé cúbico por segundo	374	Galão imperial por minuto
Pé de altura d'água	0,0295	Atmosfera
Pé de altura d'água	304,8	Quilograma por m^2
Pé de altura d'água	62,5	Libra por pé quadrado
Pé de altura d'água	0,8826	Polegada de mercúrio
Pé por minuto	0,5080	Centímetro por segundo
Pé por minuto	0,018 29	Quilômetro por hora
Pé por minuto	0,3048	Metro por minuto
Pé por minuto	0,011 36	Milha por hora
Pé por minuto	0,016 67	Pé por segundo
Pé por segundo	30,48	Centímetro por segundo
Pé por segundo	1,097	Quilômetro por hora
Pé por segundo	18,29	Metro por minuto
Pé por segundo	0,6818	Milha por hora
Pé por segundo	0,011 36	Milha por minuto
Pé por segundo	0,5921	Nó por hora
Polegada	2,540	Centímetro

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Polegada quadrada	6,452	Centímetro quadrado
Polegada quadrada	645,2	Milímetro quadrado
Polegada cúbica	0,017 32	Quarto (líquido)
Polegada cúbica	$4,329 \times 10^{-3}$	Galão americano
Polegada cúbica	$1,639 \times 10^{-2}$	Litro
Polegada cúbica	$1,639 \times 10^{-5}$	Metro cúbico
Polegada cúbica	$5,787 \times 10^{-4}$	Pé cúbico
Quilograma-força	980 665	Dina
Quilograma-força	2,205	Libra
Quilograma-força	$1,102 \times 10^{-3}$	Tonelada curta
Quilograma-força por metro	0,67 20	Libra por pé
Quilômetro	0,6214	Milha
Quilômetro	3,281	Pé
Quilômetro	1,094	Jarda
Quilômetro quadrado	241,1	Acre
Quilômetro quadrado	0,3861	Milha quadrada
Quilômetro quadrado	$10,76 \times 10^{-6}$	Pé quadrado
Quilômetro quadrado	$1,196 \times 10^{-6}$	Jarda quadrada
Quilômetro por hora	27,78	Centímetro por segundo
Quilômetro por hora	16,67	Metro por minuto
Quilômetro por hora	0,6214	Milha por hora
Quilômetro por hora	0,5396	Nó por hora
Quilômetro por hora	54,68	Pé por minuto
Quilômetro por hora	0,9113	Pé por segundo
Quilowatt	1,341	Cavalo vapor
Quilowatt	101,99	kgm por segundo
Quilowatt	737,6	Pé-libra por segundo
Quilowatt	0,239	Quilocalorias por segundo
Tonelada curta	907,2	Quilograma
Tonelada curta	2000	Libra

Multiplicar a grandeza expressa em	por	para obter a grandeza expressa em
Tonelada longa	1016	Quilograma
Tonelada longa	2240	Libra
Tonelada métrica	1000	Quilograma
Tonelada métrica	2205	Libra

18.5 EQUIVALÊNCIAS IMPORTANTES

1 t/m^2	$= 0,0914 \text{ t/pé}^2$ $= 0,0624 \text{ lb/pé}^2$	1 t/pé^2 1 lb/pé^2	$= 10,936 \text{ t/m}^2$ $= 16,02 \text{ kg/m}^3$
1 l/m^2	$= 0,0204 \text{ gal/pé}^2$ $= 7,233 \text{ lb} \times \text{pé}$	1 gal/pé^2 1 lb pé	$= 48,905 \text{ l/m}^2$ $= 0,1382 \text{ kgm}$
1 kgm	$= 0,9863 \text{ HP}$	1 HP	$= 1,0139 \text{ cv}$
1 cv	$= 2,235 \text{ lb/HP}$	1 lb/HP	$= 0,447 \text{ kg/cv}$
$1 \text{ kcal} = \text{Cal}$	$= 3,968 \text{ Btu}$	1 Btu	$= 0,252 \text{ kcal} = 0,252 \text{ Cal}$ $= 2,928 \times 10^{-4} \text{ quilowatt-hora}$
1 kcal/m^2	$= 0,369 \text{ Btu/pé}^2$ $= 0,206 \text{ Btu/pé}^2/\text{h}^\circ\text{F}$	1 Btu/pé^2 $1 \text{ Btu/pé}^2/\text{h}^\circ\text{F}$	$= 2,713 \text{ kcal/m}^2$ $= 4,88 \text{ kcal/m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$
1 kcal/m^3	$= 0,1123 \text{ Btu/pé}^3$ $= 1,8 \text{ Btu/lb}$	1 Btu/pé^3 1 Btu/lb	$= 8,899 \text{ kcal/m}^3$ $= 0,555 \text{ kcal/kgf}$
1 atmosfera	$= 1,0335 \text{ kg/cm}^2$ $= 76 \text{ cm de Hg a } 0^\circ\text{C}$	1 atmosfera 1 atmosfera	$= 14,7 \text{ lb/pol.}^2$ $= 29,92 \text{ pol. de Hg a } 32^\circ\text{F}$
1 atmosfera	$= 10,347 \text{ m de água a } 15^\circ\text{C}$	1 atmosfera	$= 33,947 \text{ pés de água a } 62^\circ\text{F}$
1 atmosfera	$= 0,01 \text{ kgf/mm}^2$ $= 1,0 \text{ kgf/cm}^2$	1 pé de água	$= 0,434 \text{ lb/pol.}^2$
1 HP	$= 42,44 \text{ Btu/min}$ $= 33 000 \text{ lb} \times \text{pé/min}$ $= 10,7 \text{ kcal/min}$ $= 0,7457 \text{ quilowatt}$ $= 76 \text{ kgm/segundo}$ $= 1,014 \text{ cv}$		
$1 \text{ HP} \times \text{hora}$	$= 2547 \text{ Btu}$ $= 1,98 \times 10^6 \text{ lb} \times \text{pé}$ $= 2,684 \times 10^6 \text{ joule}$ $= 641,7 \text{ kcal}$ $= 2,737 \times 10^3 \text{ kgm}$		

8.5 EQUIVALÊNCIAS IMPORTANTES (CONT.)

joule	= $1,0 \times 10^7$ erg = 0,101972 kgm = $2,39 \times 10^{-4}$ kcal = 0,7376 lb x pé = $9,486 \times 10^{-4}$ Btu		
1 Watt-hora	= 3,415 Btu = 2655 lb x pé = 0,8605 kcal = 367,1 kgm		

8.6 ALFABETO GREGO

α	A alfa
β	B beta
γ	Γ gama
δ	Δ delta
ϵ	E epsilon
ζ	Z dzeta
η	H eta
θ	Θ teta
ι	I iota
κ	K capa
λ	Λ lamdba
μ	M mi
ν	N ni
ξ	Ξ csi
\o	O ômicron
π	Π pi
ρ	P rô
ς	Σ sigma
τ	T tau
υ	Υ ípsilon
φ	Φ fi
χ	X qui
ψ	Ψ psi
ω	Ω ômega

Fonte: Enciclopédia Delta Universal

Bibliografia

NORMAS E REGULAMENTOS

- ABNT — NBR 5.361/98 — Disjuntores de baixa tensão.
- ABNT — NBR 5.410/97 — Instalações elétricas de baixa tensão.
- ABNT — NBR 5.413/92 — Iluminância de interiores.
- ABNT — NBR 5.419/93 — Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.
- ABNT — NBR 5.444/88 — Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais.
- ABNT — NBR 5.446/80 — Símbolos gráficos de relacionamento usados na confecção de esquemas.
- ABNT — NBR 5.453/77 — Sinais e símbolos literais para eletricidade.
- ABNT — NBR 5.461/91 — Iluminação — Terminologia.
- ABNT — NBR 5.597/95 — Eletroduto rígido de aço-carbono e acessórios com revestimento protetor, com rosca ANSI/ASME B1.20.1 — Especificação.
- ABNT — NBR 5.598/93 — Eletroduto rígido de aço-carbono com revestimento protetor com rosca NBR 6414.
- ABNT — NBR 6.150/75 — Eletroduto de PVC rígido.
- ABNT — NBR 6.808/93 — Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão montados em fábrica — "CMF".
- ABNT — NBR 9.441/98 — Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio — Procedimento.
- ABNT — NBR 13.300/95 — Redes telefônicas internas em prédios.
- ABNT — NBR 13.301/95 — Redes telefônicas internas em prédios — Simbologia.
- ABNT — NBR 13.570/96 — Instalações elétricas em locais de afluência de público — Requisitos específicos.
- ABNT — NBR 13.726/96 — Redes telefônicas internas em prédios — tubulação de entrada telefônica — Projeto.
- ABNT — NBR 13.727/96 — Redes telefônicas internas em prédios — Plantas/partes componentes de projeto de tubulação telefônica.
- ABNT — NBR 13.822/97 — Redes telefônicas em edificações com até cinco pontos telefônicos — Projeto.
- CEMIG (MG) — Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária, 1993.
- CESP (SP), ELETROPAULO (SP), CPFL (SP) — Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária a Edificações Individuais, 1989.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO — NORMA TÉCNICA — BM/7-NT 014/79: "Sistema Elétrico de Emergência em Prédios Alimentados em Baixa Tensão".

Decreto n.º 897, de 21 de setembro de 1976 — COSCIP — Código de Segurança contra Incêndio e Pânico. Legislação Complementar.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA — DNAEE — Portaria n.º 1569/1993.

DICIONÁRIO DO COBEI (ABNT).

DIN 5.044 — Iluminação.

Fornecimento de energia elétrica em tensão primária e secundária de distribuição — Instruções gerais — L.I.G.

IEC — (International Electrotechnical Commission) — N.º 598 — Iluminação.

INMETRO — Quadro Geral de Unidades de Medida — Resolução n.º 12/1988.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) — Unidades empregadas.

LIGHT (RJ) — Regulamento para Suprimentos de Consumidores — Baixa Tensão (RECON/BT), 1987.

NEMA — National Electrical Manufacturing Association.

Normas para Projetos Físicos de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde — Brasília, 1994. Série Saúde & Tecnologia.

TELEBRÁS — Telecomunicações Brasileiras S.A.

Sistemas de Práticas n.º 235-510-602-RJ.

CATÁLOGOS E MANUAIS DE FABRICANTES

AMELCO S/A INDÚSTRIA ELETRÔNICA — intercomunicação e sistemas.

APOLO PRODUTOS DE AÇO S.A. — eletrodutos e conexões Apolo.

AQUECEDORES CUMULUS S.A. — Indústria e Comércio, da COMPANHIA GERAL DE INDÚSTRIAS.

ASEA BROWN BOVERI (ABB).

ASEA ELÉTRICA LTDA. — fornos e caldeiras.

ATA COMBUSTÃO TÉCNICA S.A.

BLINDA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

CEMAR — componentes elétricos.

CÉRBERUS — detectores de incêndio.

CUTLER — HAMMER DO BRASIL — (Eletromar — Westinghouse).

DAISA — conexões sem rosca para eletrodutos.

DALMA INTERCÂMBIO COMERCIAL LTDA.

DIMEP — DIMAS DE MELO PIMENTA S.A. — indústria de relógios.

EZALPHA — equipamentos de segurança.

FESTO — MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PNEUMÁTICOS LTDA. — sugestões de aplicações dos Equipamentos Pneumáticos Ltda.

FICAP — Fios e Cabos Plásticos S.A.

FLYGT DO BRASIL S.A. — bombas submersíveis.

FRANKLIN FRANCE — pára-raios.

GENERAL ELECTRIC — toda a linha de material e equipamento para força motriz e iluminação.

GERALTHERM — aquecedores.

HANSEN INDUSTRIAL — TUBOS E CONEXÕES TIGRE LTDA.

HDL PRODUTOS ELETRÔNICOS IND. E COM. LTDA. — controles eletrônicos — central de portaria.

KANAFLEX — tubos flexíveis.

LORENZETTI S.A. — linha completa de material elétrico.

MARVITEC — linha de produtos e materiais de acabamento.

METALÚRGICA WETZEL — conexões.

MOPA — materiais e acabamentos.

NEO-REX DO BRASIL LTDA. — sistemas de proteção, alarme, detecção e segurança.

OSRAM DO BRASIL — lâmpadas; iluminação.

PASCHOAL THOMEU — linha completa de materiais de baixa tensão.

PHILIPS DO BRASIL — lâmpadas; iluminação.

PIAL LEGRAND INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. — interruptores e tomadas.

PIRELLI — fios e cabos de todos os tipos.

PROMA SISTEMAS ANALÓGICOS E DIGITAIS — controles eletrônicos.

SATÚRNIA S.A. — sistemas de energia. No break.

SIEMENS S.A. — linha completa de materiais e equipamentos para força motriz, iluminação, equipamentos para comando, controle e proteção dos circuitos e sistemas de segurança.

SISA — SOCIEDADE ELETRÔNICA LTDA. — dutos e materiais para instalações elétricas.

STECK CONEXÕES E MATERIAIS ELÉTRICOS LTDA. — caixas.

SULZER — BROWN BOVERI — caldeiras.

SYLVANIA — lâmpadas; iluminação.

TÉLÉMÉCANIQUE (GRUPO SCHNEIDER) — canalizações elétricas, do tipo *bus-duct*.

THEVEAR — porteiro eletrônico.

WALTEC ELETRO-ELETRÔNICA LTDA. — transformadores de potência, a seco.

WEG MOTORES LTDA. — motores, em geral.

ZY INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA.

LIVROS MAIS CONSULTADOS

American Electricians Handbook, Croft.

Cours D'électrotechnique Théorique — L.A. Bessonov. Ed. Ecole Supérieure.

Curso Completo de Eletricidade Básica — U.S. Navy. Ed. Hemus.

Edifícios de Alta Tecnologia — Jayme Spinola Castro Neto. Ed. Carthago & Forte, 1994.

Electric Power Systems in Commercial Buildings. IEEE.

Electrical Construction Cost Manual — Ralph Edgar Johnson. McGraw-Hill Book Company.

Electrical Engineers Handbook — Knowlton.

Eletrotécnica — Princípios e Aplicações — Gray e Wallace. Ao Livro Técnico.

Industrial Power Systems Handbook — McGraw-Hill. Ed. Beeman.

Instalações Elétricas

Instalaciones en los Edificios — Gay, Fawcett e McGuinness. Ed. Gustavo Gili.

Instalações Elétricas Industriais — João Mamede Filho. LTC Editora.

Le Schema Electrique — Hubert Largeaud. Ed. Eyrolles, 1993.

Lighting Handbook — Editado pelo IES (Illuminating Engineering Society). Estados Unidos da América.

Manual de Luminotécnica — J.A. Taboada. Ed. Dossat.

Mathematics of Physics and Modern Engineering — Sokolnikoff & Redheffer.

The Intelligent Building Sourcebook — John A. Bernaden e Richard E. Neubauer. Johnson Controls.

Índice Alfabético

A

- Ação
 - da luz, 12
 - química, 12
- Acessórios dos eletrodutos metálicos, 477-480
 - buchas, 477
 - curvas, 477
 - luvas, 477
 - porcas, 477
- Agitadores, 176
- Agua
 - aquecedores elétricos de, 367, 368
 - molécula da, 1
- Air circuit breakers, 209
- Alarme
 - contra fogo, fumaças e gases, 456-460
 - central de controle de combate a incêndio, 460
 - detectores automáticos, 458, 459
 - natureza da questão, 456
 - suprimento de energia, 460
 - conta roubo, 455, 456
- Alfabeto grego, 540
- Alimentação
 - condutores de, 43
 - em baixa tensão, 32
 - em média e alta tensão, 32
- Alimentador(es)
 - corrente de projeto nos, 66
 - geral de vários alimentadores secundários, 193
 - para apenas um motor, 192
 - para vários motores, 193
- Alizares, 493
 - "Alta potência", 172
- Alternador(es)
 - geração de corrente em um, 14-20
 - ligação de, em estrela, 19
 - ligação de, em triângulo (delta), 20
 - potência fornecida pelos, 21-23
- Ampère, 3
- Ampérmetro, 4
- Ângulo de proteção, 338, 339
- Ângulo sólido, 243
- Anoxémia por choque elétrico, 139
- Anoxia por choque elétrico, 139
- Aparelhos domésticos, instalações elétricas para, 42
- Aparelhos elétricos de consumo
 - fixos, 42
 - ligação dos, 23-25

- Aquecedores elétricos de água, 367, 368
 - com reservatórios de acumulação, 368
 - instantâneos, 367
 - rápidos, 367
- Aquecimento, 362-364
 - dielétrico, 364
 - por arco elétrico, 363
 - por indução, 363
 - por microondas, 364
 - por plasma, 363
 - por radiação infravermelha, 363
 - por radiofrequência, 364
 - por raio laser, 364
 - por resistência, 362, 363
 - direta, 362, 363
 - indireta, 363
- Ar, 399
- Arco elétrico, aquecimento por, 363
- Arruelas, 479
- Ascaré, 397
- Asfixia por choque elétrico, 139
- Associação de capacitores, 325-327
- Atendimento do fornecimento de energia
 - bifásico, 37
 - monofásico, 37
 - trifásico, 38
- Atenuador, 172
- Aterramento, 135-143
 - choque elétrico, 138-144
 - condutor de, 443, 444
 - condutor de proteção, 136
 - consumidores supridos em 380/220 V, 444
 - da máquina de lavar, 143
 - definições, 136
 - do chuveiro elétrico, 143
 - do neutro, 138
 - do pâra-ruas, 336
 - eletrodo de, 136, 335
 - haste de, 136, 337
 - ligação de equipamentos à terra, 443
 - ligações à terra, 443
 - modalidades de, 136, 137
 - número de eletrodos, 444
 - seção dos condutores de proteção, 138
- Átomos, 1
- Atrito, 12
- Auto-indução, fenômeno de, 16
- Automático de bôia, 162

B

- "Bancos de capacitores", 325
- Barrantos, 441, 442

- blindados (Bus-way), 442
 - dimensionamento, 442
 - instalação e detalhes construtivos, 442, 443
 - dimensionamento, 442
 - instalação e afastamentos, 442
 - Bifásico(s), 37
 - dimensionamento, 70
 - Boilers, 368
 - Bomba(s)
 - centrífugas, 175
 - d'água contra incêndio, 400
 - da caldeira, 371
 - Bornes ou terminais, 188
 - Boxe reto interno, 481
 - Braçadeiras, 481
 - Buchas, 478
 - Bus-duct, 483
 - Bus-way, 442
- ### C
- Cabo(s), 99
 - armados ou não-armados, 393
 - características
 - da Ficap, 106
 - da Pirelli, 104-105
 - cobertura, 98
 - isolado, 98
 - multipolares, 99
 - poços para passagem de, 495
 - seção nominal do, 99
 - unipolares, 99
 - Caixas)
 - de aterramento, 421
 - de distribuição, 39, 422-423
 - - afastamentos, 422
 - - aparentes (condutentes), 500
 - - aparente (petróleos), 500
 - - isenção, 422
 - - localização, 422
 - - proteção mecânica, 423
 - - tipos e utilização, 423
 - de embutir, 498
 - de saída, 217
 - de saída principal, 217
 - de transformadores de corrente, 39
 - gabinetes especiais, 429
 - multiuso, 505
 - seccionadora, 40, 423
 - - afastamentos, 423
 - - localização, 423
 - - proteção mecânica, 423
 - - tipos e utilização, 423

- terminal, 38, 418
- afastamentos, 413
- ligações aéreas, 418
- ligações subterrâneas, 418
- localização, 413
- proteção mecânica, 420
- tipos e utilização, 418
- Caldeiras elétricas para geração de vapor, 368-379
 - controle e proteção de, 377-379
 - modalidades de, 370-377
 - a jato de água, 375
 - eletrodo submerso, 370-374
 - resistência, 370
 - proteção elétrica das, 379
 - certo-círculo entre fases, 379
 - falhas entre fase e terra, 379
- Calhas e canaletas, instalação em, 483-490
 - de piso, 484
- Campainha elétrica, 342-346
 - comando de, 343
- Campo de proteção, 331
 - "Campo girante", 175
- Campo magnético
 - no interior de um solenóide, 12-13
 - rotação do condutor, 14
 - variação de intensidade, 14
- Canaletas de alimentação, 211-223
- Capacidade de ruptura dos equipamentos, 211
- Capacitor(es), 17
 - associação de, 325-327
 - com chave e fusíveis individuais, 322
 - com fusíveis ligados a um motor, 322
 - correção do fator de potência, 312, 313
- CPNW, 321
 - de compensação, 254
 - estáticos industriais, 319
 - prescrições para instalação de, 320
 - trifásicos de baixa tensão, 324
- Captor do pára-raios, 332
 - campo de proteção, 331
 - haste para suporte do, 334
- Carga(s) elétrica(s), 2
 - densidade de, 60, 61
 - indutivas, 16
 - instalada, 37, 69
 - mínima, 71
 - lista geral de, 61
 - previsão de, 69
 - reativas, 16
- Células fotovoltaicas
 - comando por, 166-168
 - Cemig, 31
 - "Central de portaria", 347, 348
 - Centro de medição, 40
 - CESP, 31
 - Chave(s)
 - compensadores de partida, 199-202
 - de bôia, 162-164
 - de face com porta-fusíveis, 153
 - de partida
 - de ligação direta, 197, 198
 - de redução da corrente de partida, 198, 199
 - estrela-triângulo, 198, 199
 - magnética(s), 145, 198
 - combinada, 146
 - protetora, 145
 - Cigarra
 - com duas bobinas, 334
 - com uma bobina, 343
 - comando de, 334, 335
 - Circuito(s) elétrico(s), 44, 45
 - balanço energético em um, 8
 - com indutância, 22
 - com resistência ohmica, 3
 - com resistências associadas
 - em paralelo, 10
 - Contatores, 146-149, 198
 - em série, 9-10
 - de motores, 189-192
 - luz, 192
 - partindo de um alimentador geral, 190
 - ramais secundários de um alimentador geral, 191
 - terminais individuais com distribuição radial, 190
 - dispositivos de comando dos, 145-149
 - contadores, 146
 - pressostato, 146
 - relé térmico, 149
 - termostato, 146
 - interrupção da passagem da corrente por secionamento, 145
 - master switch, 162-163
 - proteção contra curtos-circuitos ou sobrecargas, 145
 - terminal, 44
 - Classe de isolamento de motor, 188
 - Cloreto de polivinila (PVC), 103
 - Cobertura, 98
 - Coeficiente de temperatura, 5
 - Coeficiente de utilização, 273
 - Comando
 - dispositivos de, 145
 - por células fotovoltaicas, 166-168
 - compressão, 12
 - compressores rotativos, 176
 - comunicação interna, 351
 - sistema centralizado de, 355
 - condutões, 472
 - Condutor(es) elétrico(s), 2, 4, 98-144
 - agrupamento de, 124
 - aterramento, 136
 - bitola do
 - com isolação de PVC instalada ao ar livre, 115
 - supondo uma temperatura ambiente de 30°C, EPR/XLPE, 116
 - cálculo pela queda de tensão, 130-135
 - instalações alimentadas a partir da rede de alta tensão, 130
 - instalações alimentadas diretamente em rede de baixa tensão, 130
 - capacidades, 115-118
 - cores do, 144
 - de alimentação
 - de circuitos de distribuição principal, 43
 - de circuitos terminais, 43
 - de aterramento, 443
 - de descida, 332
 - de equipotencialidade, 136
 - de retorno, 46
 - dimensionamento dos, 103
 - aquecimento, 106
 - coreções, 119, 123, 125
 - eletrodutos, 469
 - isolados no interior de um eletroduto, 127
 - designais, 128
 - iguais, 128
 - material
 - em instalações comerciais, 101
 - em instalações industriais, 101
 - em instalações residenciais, 101
 - neutro, 19, 27
 - raio, 330
 - seções mínimas dos, 102
 - tipos
 - não-propagadores de chama, 103
 - propagadores de chama, 103
 - resistentes à chama, 103
 - resistentes ao fogo, 103
 - tipos
 - não-propagadores de chama, 103
 - propagadores de chama, 103
 - resistentes à chama, 103
 - resistentes ao fogo, 103
 - Difusor, 469-482
 - instalação em, 482
 - para barramento (bus-duct), 490
 - Disjuntor(es), 156-159, 198
 - com proteção eletromagnética apenas, 149
 - com proteção térmica apenas, 149
 - com proteção térmica e eletromagnética, 156
 - em caixa moldada, 158
 - seletividade entre, 169
 - térmicos, 149
 - Dispositivos de comando dos circuitos, 145-149
 - Dispositivos de proteção
 - em série, 9-10
 - de motores, 189-192
 - luz, 192
 - partindo de um alimentador geral, 190
 - ramais secundários de um alimentador geral, 191
 - terminais individuais com distribuição radial, 190
 - dispositivos de comando dos, 145-149
 - contadores, 146
 - pressostato, 146
 - relé térmico, 149
 - termostato, 146
 - interrupção da passagem da corrente por secionamento, 145
 - master switch, 162-163
 - proteção contra curtos-circuitos ou sobrecargas, 145
 - terminal, 44
 - aplicações dos, 146
 - "Controle automático" dc nível, 162
 - Controller, 189
 - Conversão, fatores de, 533
 - Cor da luz, 266
 - Correção do fator de potência, 307-328
 - Corrente elétrica, 2, 3
 - de compensação, 19
 - de fuga, interruptor, 160-162
 - efeitos da, 162
 - de partida no motor trifásico, 185
 - diferencial-residual, 160-162
 - em um alternador, 14-21
 - gerador monofásico, 14
 - gerador trifásico elementar, 15
 - grandes, 16-19
 - - impedância indutiva, 17
 - - reatância capacitativa, 17
 - - reatância indutiva, 16
 - - somente com resistência, 16
 - intensidade eficaz, 15
 - ligações dos enrolamentos dos geradores trifásicos, 19
 - intensidade da, 3-4, 63-67
 - nominal I, 64
 - de projeto I, 64
 - no motor trifásico, 181
 - tempo de interrupção das, 149
 - valor finito para a, 209
 - Coulombs
 - quantidade de eletricidade, 2
 - CPFL, 31
 - Curto-círcuito, 207
 - Curva de distribuição da intensidade luminosa, 243
 - Curvas isolux, 300
 - D**
 - Dados de placa do motor, 187, 188
 - Demanda
 - cálculo da, 69-97
 - entradas coletivas, 76
 - entradas individuais, 69
 - do ramal de entrada, 78
 - máxima, 37, 63
 - Densidade luminosa superficial, 246
 - Descarga de retorno, 329
 - Descarga-guia, 329
 - Descarga-piloto, 329
 - Descarga principal, 329
 - Descargas reflexas, 329
 - Detectores automáticos de incêndio, 448-459
 - por ionização, 458
 - térmicos, 458, 459
 - termovelocimétricos, 458
 - Determinação do fator de potência, 313-314
 - Diagramas fotométricos, 299-302
 - lâmpadas — tendências, 303-3062
 - luminárias, 285-289
 - Diferença de potencial, 2
 - Dimmer, 43, 171, 172
 - Diac, 171, 172
 - Difusor policlorados, 397
 - Disconnecting mean, 189
 - Dutos, 482, 483
 - instalação em, 482
 - para barramento (bus-duct), 490
 - Disjuntor(es), 156-159, 198
 - com proteção eletromagnética apenas, 149
 - com proteção térmica apenas, 149
 - com proteção térmica e eletromagnética, 156
 - em caixa moldada, 158
 - seletividade entre, 169
 - térmicos, 149
 - Dispositivos de comando dos circuitos, 145-149
 - Dispositivos de proteção
 - em série, 9-10
 - de motores, 189-192
 - luz, 192
 - partindo de um alimentador geral, 190
 - ramais secundários de um alimentador geral, 191
 - terminais individuais com distribuição radial, 190
 - dispositivos de comando dos, 145-149
 - contadores, 146
 - pressostato, 146
 - relé térmico, 149
 - termostato, 146
 - interrupção da passagem da corrente por secionamento, 145
 - master switch, 162-163
 - proteção contra curtos-circuitos ou sobrecargas, 145
 - terminal, 44
 - aplicações dos, 146
 - "Controle automático" dc nível, 162
 - Controller, 189
 - Conversão, fatores de, 533
 - Cor da luz, 266
 - Correção do fator de potência, 307-328
 - Corrente elétrica, 2, 3
 - de compensação, 19
 - de fuga, interruptor, 160-162
 - efeitos da, 162
 - de partida no motor trifásico, 185
 - diferencial-residual, 160-162
 - em um alternador, 14-21
 - gerador monofásico, 14
 - gerador trifásico elementar, 15
 - grandes, 16-19
 - - impedância indutiva, 17
 - - reatância capacitativa, 17
 - - reatância indutiva, 16
 - - somente com resistência, 16
 - intensidade eficaz, 15
 - ligações dos enrolamentos dos geradores trifásicos, 19
 - intensidade da, 3-4, 63-67
 - nominal I, 64
 - de projeto I, 64
 - no motor trifásico, 181
 - tempo de interrupção das, 149
 - valor finito para a, 209
 - Coulombs
 - quantidade de eletricidade, 2
 - CPFL, 31
 - Curto-círcuito, 207
 - Curva de distribuição da intensidade luminosa, 243
 - Curvas isolux, 300
 - E**
 - à corrente diferencial-residual, 160-162
 - contra curtos-circuitos, 149
 - fusíveis, 150-156
 - coordenação entre condutores e, 156
 - dos circuitos, 149-159
 - F**
 - Efeito
 - joule, 318
 - piezelétrico, 12
 - termelétrico, 12
 - Electric heaters, 368
 - Electrical Engineers Handbook, 192
 - Elemento químico, 1
 - Eletricidade
 - atmosférica, 329, 330
 - conceitos básicos de, com vistas a instalações, 1
 - Elétrico, sistema
 - de emergência em prédios alimentados em baixa tensão, 444-451
 - desligamento, 447
 - esquemas básicos, 447
 - execução e seleção dos componentes, 446
 - independência do suprimento, 445
 - localização, 446
 - quadro de distribuição, 446
 - suprimento, 445
 - proteção do, 414-418
 - Eletrodo
 - de aterramento, 443
 - de terra, 335
 - Eletroduto(s), 121, 127
 - agrupamento de, 119
 - ao ar livre, 125
 - classificação, 471
 - diâmetro nominal, 127
 - embutidos ou enterrados, 126
 - finalidades, 471
 - flexíveis metálicos, 127
 - material, 472
 - metálicos, acessórios dos, 477-480
 - metálicos flexíveis, 480, 481
 - modalidades de instalação e tipos usados, 472
 - número de condutores em um, 473
 - número de condutores isolados no interior de um, 121-127
 - plásticos flexíveis, 482
 - proteção contra corrosão, 472
 - rígidos, 127, 472-473
 - semi-rígidos, 127
 - Eletrofôma, 342
 - Elétrons, 1, 330
 - livres, 2
 - Eletropaulo, 29
 - Eletrotermia, 362-382
 - aquecedores elétricos de água, 367, 368
 - aquecimento resistivo, 364-367
 - caldeiras elétricas para geração de vapor, 368-379
 - fornos elétricos, 380-382
 - processos empregados em, 362-364
 - Elevadores, 176
 - Emergência e sistema no-break, 356-361
 - em instalações de grande porte, 356
 - interravimentos, 356, 357
 - Energia, 7
 - ativa, 307
 - em tensão secundária de distribuição, 406-408
 - apresentação do projeto da entrada de serviço, 407
 - dados fornecidos pela concessionária, 407
 - dados fornecidos pelo consumidor, 407
 - fornecimento de, aos prédios, 37-41
 - com mais de cinco pavimentos, 41
 - Fio(s), 98
 - alternativos, 43
 - características
 - da Ficap, 106
 - da Pirelli, 101, 101
 - de retorno, 43
 - diretos
 - fase, 43
 - neutro, 43
 - seção nominal do, 99
 - Fluxo elétrico, 3
 - Fluxo luminoso, 242
 - Footcandle, 244
 - Força eletromotriz, 2, 12
 - produção de uma, 12-14
 - ação da luz, 12
 - ação química, 12
 - aquecimento, 12
 - atrito, 12
 - compressão e tração, 12
 - indução eletromagnética, 12
 - fornecimento limite de, 31
 - Fornos elétricos, 380-382
 - a arco, 380
 - elétrico, 380
 - Ignitores, emprego de, 267-268
 - Iluminação, 25
 - concentrante direta, 269
 - de emergência, 351, 352
 - direta, 269
 - fluorescente, 269
 - incandescente, 269
 - indireta, 269
 - instalações elétricas para, 42
 - mista, 259
 - pelo método de "ponto a ponto", 296-299
 - projeto de, 269-295
 - semiconcentrante direta, 269
 - semidireta, 269

- indireta, 269
lância, 244-246
uada, fatores determinantes da, 271
teriores, índices, 269
a, 245
ção, 269
tudo da General Electric, 272-284
tudo da Philips, 284-295
nating Engineering Society, 269
dância
utiva, 17
il, cálculo da, 209
ngulo de, 17
ndio, prevenção, 456-461
ural de controle, 460
ectores automáticos, 458, 459
ador visual, 459
ce do local, 261, 283
ces de iluminância de interiores, 270
ução, aquecimento por, 363
ção eletromagnética, 12, 13
utância, 17
rcuito elétrico com, 21
uzido, 175
METRO; v. Instituto Nacional de
etrologia, 4
atalação(es) elétrica(s)
áculo da carga instalada e da demanda, 69
onceitos básicos, 1-28
constituição da matéria, 1-2
emprego de transformadores, 25-28
geração de corrente em um alternador, 14-20
grandezas elétricas, 2-11
ligação dos aparelhos de consumo de
nergia elétrica, 23
potência fornecida pelos alternadores, 20-23
produção de uma força eletromotriz, 12-14
de uma unidade residencial, 93
lementos componentes, 42-45
em baixa tensão, norma, 42
esquemas fundamentais de ligações, 45-60
estimativa de carga, 60-63
fação, 43
fornecimento às unidades consumidoras, 67-69
intensidade de corrente, 63-67
normas para a apresentação do projeto de,
108-444
aterramento, 443
baramentos, 442
caixas, 390
medição, 413
proteção do ramal de entrada, 414
ramal de entrada, 409
ramais de ligação, 408
para iluminação e aparelhos domésticos, 42-97
para motores, 173-215
ponto, 42
potência instalada e de demanda, 63
projeto, 506-531
símbolos e convenções, 45-51
Instituto Nacional de Metrologia, 3
Intensidade eficaz, 15
Intensidade luminosa, 242-244
ângulo sólido, 243
curva de distribuição da, 243
Iluminamento, 244
médio, 244
Interruptor(es)
de corrente de fuga, 160-162
de duas seções, 43
de três seções, 43
de uma seção, 42
intermediário, 43
paralelo, 43
Intertravamentos, 356, 357
íons, 329
Isolação, 98
- I**
Isoladores, instalações sobre, 495
Isolantes clárticos, 2
- J**
Joule, efeito, 319
Joule, lei, 365
Junta móvel para medição, 335
- L**
Laço, 460
Lâmpada(s), 246-266
- de descarga, 251-265
- a vapor de mercúrio, 260-261
- a vapor de sódio, 261
- de multivapores metálicos, 265
- fluorescentes, 251-259
- aplicadas das, 256
- coloridas, 256
- compactas, 256
- de partida rápida, 259
- HO, 256
- reator, 252, 254
- starier ou disparador, 252
- luz mista, 259, 260
Heliax, 305
incandescentes, 247-251
bulbo
- opalino, 247
- translúcido, 247
transparente, 247
com bulbo de quartzo, 249
com bulbo temperado, 249
espelhadas, 250
halógenas, 249
infravermelhas, 249
para fins específicos, 249-250
refletoras, 250
luminárias HDK, 285
tendências, 303-306
fluorescentes, 251-259
halógenas, 305
à tensão da rede, 306
dícoricas, 306
multivapores metálicos, 305
vapor de sódio alta pressão, 306
vapor de sódio brancas, 306
vida útil e rendimento luminoso das, 266, 267
- Lei da iluminância, 245
Lei de Lenz, 176
Lei de Ohm, 5
Lenz, lei de, 176
Letra-código do motor, 186
Ligação(Ges)
área ou subterrânea, 38
com dispositivos redutores da corrente de
partida, 198
de lâmpada, 52, 54
com interruptor four-way, 58
- esquemas básicos unifilares das principais modalidades de, 38-41
esquemas fundamentais de, 45
modalidades de, 31
provisória(s), 32, 37
subterrânea, 38
temporárias, 32
- M**
Master switch, 162
Materia, constituição da, 1-2
elétrons, 1
neutrões, 1
prótons, 1
Materiais empregados e tecnologia de
aplicação, 493
afizares, 493
caixas de distribuição aparentes
(conductores), 498
caixas de embutir, sobrepor e multiuso, 498
condutos, 469-477
- Medidores, agrupamentos
dois ou mais, 78
único, 77
Medidores, local dos, 406
Megger, 337
Método
- N**
Nanômetros, 241
NBR-5.410, 29, 186, 470
NBR-5.413, 241
NBR-5.419, 334-336
NBR-5.461, 241
NBR-6.808, 207
NBR-14.039, 29
Neoprene, 103
Neutro, 19
aterramento do, 138
Neutrões, 1
No-break, sistema, 357-361
áreas de aplicação, 358
fabricantes do, 361
- Medidores, agrupamentos
dois ou mais, 78
único, 77
Medidores, local dos, 406
Megger, 337
Método
- Portaria nº 466, 30, 31
Portas automáticas, 352, 353
- chave estática, 360
normal, 356
principais funções do, 357
princípio de funcionamento, 358
Núcleo, 1
- O**
Ohm, 4
Ohm, lei de, 5
aplicação da, 6
Óleo mineral, 397
Olho humano, sensibilidade à luz, 241
Overload protective device, 189
- P**
Pára-raios prediais, 329-341
aterramento do, 336
classificação dos, 331, 332
comuns, 331
dimensionamento de um SPDA, 338
- por fotocélulas, 353
por pressão sobre tapete, 353
Porteiro eletrônico, 347-348
esquema simplificado, 347
Portões, abertura e fechamento de, 351
Potência elétrica, 2, 6
de alimentação, 63
demanda, 63
de motor elétrico
de entrada, 178
de saída, 178
nominal, 178
instalada, 63
Potência fornecida pelos alternadores, 20-23
expressão da, 20
fator de, 21
aparente P, 21
ativa P, 21
real, 21
reativa, 22
total, 21
valores do, 22
rendimento, 23
Potencial elétrico, 2
Potenciômetro, 171
Prévia consulta, 406
Produção de uma força eletromotriz, 12-14
Projeto de instalações elétricas, 506-531
elementos constitutivos, 506, 507
memorial de cálculo, 507
memorial descritivo, 506, 507
orçamento, 507
plantas, 507
da cobertura, 518
do pavimento-tipo, 517
do térreo, 516
do subsolo, 515
Projeto de um prédio de apartamentos, 508-531
cálculo da demanda, 520-528
dados iniciais, 508
demandas de serviço, 520
demandas do ramal de entrada, 528
dimensionamento da proteção, 530
esquema vertical, 521
pavimento-tipo, 520
Proteção da subestação, 393
Proteção do ramal de entrada, 414-418
entradas coletivas, 415
entradas individuais, 414
proteção de arco à terra em consumidores
supridos em 380/220 V, 418
redes particulares de vilas ou conjuntos
residenciais, 415
Proteção do sistema elétrico, 405
Prótons, 1
- Q**
Quadro anunciador, 343, 345, 346
Quadros terminais, 45
de comando e distribuição, 505
Queda de tensão, 7
Químico, elemento, 1
- R**
Radiano infravermelho, aquecimento por, 363
Raios, 329, 330
aspecto do, 330
danos mecânicos causados pelo, 330
efeito luminoso do, 330

Ramal(is) de ligação, 34

- aéreo, 408
- de entrada, 34
- coletiva, 34
- de serviço, 34
- individual, 34
- em alta tensão, 32
- em baixa tensão, 32
- aéreo, 34
- subterrâneo, 34
- externo, 33
- interno, 34
- número de fases, conforme a carga, 37
- ponto de entrega, 34
- subterrâneo, 409

Reatância

- capacitiva, 17
- induativa, 16

Reator(es), 252-256

- comuns ou convencionais, 254
- de partida rápida, 254

eletrónicos, 256

Regulador de nível Flygt, 164

Regulamento para Suprimento de Energia, da Light, 34

Relação de transformação, 26

Relé(s)

- de mínima tensão, 160
- de partida, 164-166
- de sub tensão, 159
- de sub tensão e sobrecorrente, 159, 160

- de tempo, 162

- magnéticos, 198

- térmico(s), 149

Relógio eletrônico de ponto Megapoint, 354

Relógios de controle, 353-355

Resistor, 173

Resistência elétrica, 4

- aquecimento por, 362
- associadas, 9

- de terra, 336-338

- efetiva, 10

- equivalente, 10

- específica, 4

Resistências ôhmicas, 209

- em paralelo, 10

Resistividade, 4

Resistor(es), 4, 173

- de partida para motores com rotor em curto-círcuito, 202
- de partida propriamente ditos, 203
- fixos, 202

Rodapés, 493

Rotor, 175

- bobinado (em anéis), 175

- em curto-círcuito ou gaiola de esquilo, 175

S

Saídas digitais, 465

Seção nominal de um fio ou cabo, 99

Segurança e centrais de controle, sistemas de, 454-465

- alarme contra fogo, fumaças e gases, 456
- alarme contra roubo, 455

- central de supervisão e controle, 461-465

-- preliminares, 461

-- projeto, 463

-- sistema de automação predial Siemens-Saps, 462

- edifício inteligente, 454-455

Seletividade, 168-171

- entre disjuntores, 169

- entre disjuntor e fusíveis em série, 170

- entre fusíveis, 168

Sensores constituídos por células fotoelétricas, 456

Shafts, 495

Sinalização, 342-361

- acústico-visual em hospitais, 348-350
- diagrama, 350

Sistema

- CCM, 207, 209
- de automação predial Siemens-Saps, 462-463

-- composição do, 463

- em "espinha de peixe" de canaletas de piso, 224
- em malha de piso com tubulação convencional, 221

- em "pente" de canaletas de piso, 223-224

- paralelo de canaletas de piso, 223

- Spot Network, 32

Soldagem elétrica, 364

SPDA; v. Sistema de proteção contra descargas atmosféricas

Sprinklers, 456

Squirrel-cage, 175

Starter ou disparador, 252, 253

"Subcircuito", 45

Subestações abaixadoras de tensão, 383-405

- até 13,8 kV

- - aterramento, 400

- - barramentos e isoladores, 399, 400

- - bomba d'água contra incêndio, 400

- - cabos, 393

- - chaves de faca, 399

- - chaves fusíveis, 399

- - de caráter geral, 385-392

- - geração própria, 400

- - pára-raios, 399

- - proteção, 393

- - transformadores, 396-399

- - cargas, 383-385

- fornecimento de energia em tensão primária de distribuição, 383-385

- medição, 404

- modalidades, 385

- - de entrada aérea, 385

- - de entrada subterrânea, 385

- - instalação abrigada, 385

- - instalação ao tempo ou área, 385

- prédios com mais de uma, 400-404

- sistema de interconexões na baixa tensão, 403

- sistema radial simples, 402

- sistema seletivo em baixa, 403

- proteção do sistema elétrico, 405

- tensões nominais, 383

T

Telefone(s)

- canaletas de piso para, 221-223

- canaletas paralelas para, 221

- previsão de pontos de, 217

Telemetria, 465

Telerruptor, 59

Televisão em circuito fechado, 456

Temperatura, correção de, 119

Tempo de interrupção das correntes elétricas, 149

Tensão elétrica, 2

- queda de, 7

- - cálculo dos condutores, 130

- - dimensionamento dos motores, 194

- nominal

- - em triângulo, 199

- - entre fases da rede alimentadora, 199

- secundária de distribuição, solicitação de

energia em, 406-408

- variador da, 171

Three-way, 43

Tiristores, 172

Tomadas de corrente, 61-63

- com terra, 42

- combinada, 42

- de uso específico, 61

- de uso geral, 61

- - número mínimo, 61

- dupla, 42

- potência, 63

- simples, 42

Torque, 173, 183

Trabalho elétrico, 7

Tração, 12

Transformação, relação de, 26

Transformador(es), 14, 26, 396

- óleo, 396

- a seco, 396

- caixa, 39

- conceito de, 25

- de corrente, emprego de, 39

- emprego de, 25-28

- estático, 25

- indutor do, 25

- induzido, 25

- monofásico, 14

- primário do, 14, 26

- relação de transformação, 26

- secundário do, 14, 26

- trifásicos, ligação de, 26-28

Triac, 171

Triângulo, ligação em, 20

Trifásico, 38

Trovão, 330

Tubulação(s) telefônica(s), 216-240

- de entrada, 229-236

- aérea, 230

- curvas, 236, 237

- subterrânea, 221

- edifícios de vários blocos, 237

- fluxograma, 238, 239

- primária, 220

- - caixa de distribuição, 227-228

- - caixa de distribuição geral, 226-227

- secundária, 216

- - diâmetros, 217

- - dimensionamento, 217

- - pontos, 217

- - sistema em malha de piso, 221

- - sistema em "pente" de canaletas de piso, 223

- - sistema paralelo de canaletas de piso, 221-223

- - trajetos, 217

Tungstênio, 247

U

Unidade(s), 532-540

- básicas do sistema internacional, 532

- consumidores, fornecimento às, 67-69

- de iluminação, 244

- do fluxo luminoso, 242

- elétricas e magnéticas, 532, 533

- equivalências, 539

- prefixes, 532

- residencial, instalação elétrica, 93

- tabela de fatores de conversão, 533-539

Utilização, fator de, 66

V

Variação de velocidade do motor, 176-177

Variador de potência, 172

Variador de tensão elétrica, 43, 171

- emprego de um dimmer ou atenuador, 171

- deslizante simples, 43

- rotativo simples, 43

Vazão, 4

Ventiladores, 176

Ventoínhas, 176

Vibradores, 176

Volts, 3