Capítulo 3

Proteção contra choques elétricos – fundamentos

© 2008 by Pearson Education

3.1 — A corrente elétrica no corpo humano

- A publicação IEC/TS 60479 -1: *Effects of current on human beings and livestock.*
- Os perigos da eletricidade
  - Tetanização
  - Limite de largar
  - Queimaduras
  - Fibrilação ventricular

© 2008 by Pearson Education

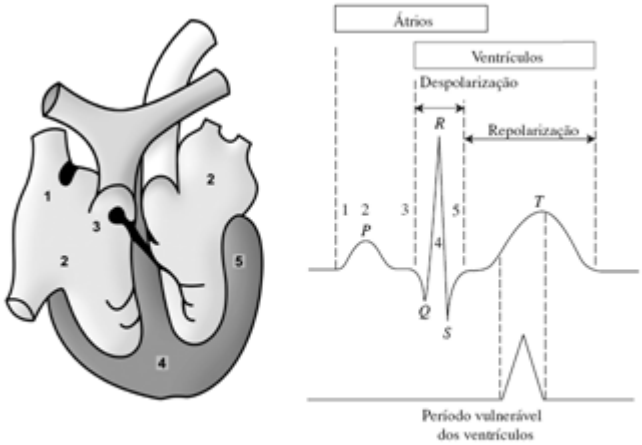
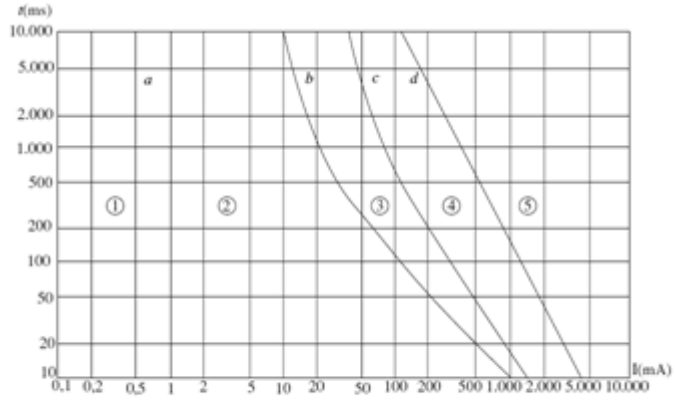


Figura 3.1 • Ciclo cardíaco com indicação do período vulnerável dos ventrículos (os números sinalizam as etapas progressivas do ciclo)



Notas:
1. No que diz respeito à fibrilação ventricular, a Figura 3.4 relaciona-se com os efeitos da corrente que passa no trajeto "mão esquerda/pés".
2. No ponto 500 mA/100 ms há probabilidade de 0,14% de ocorrer fibrilação.

Figura 3.3 • Zonas de efeito de corrente alternada (50 ou 60 Hz) sobre adultos

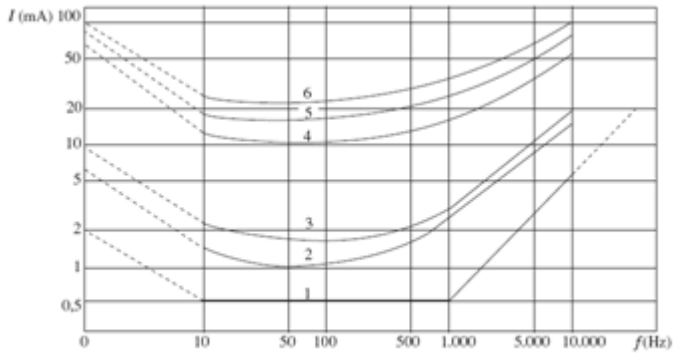


Figura 3.5 ▪ Corrente elétrica versus freqüência para a mesma contração muscular

© 2008 by Pearson Education

- Impedância do corpo humano
- Quadro 3.1 – Principais variáveis que influem no valor da resistência elétrico do corpo humano:
  - estado da pele;
  - local do contato;
  - área de contato;
  - pressão de contato;
  - duração do contato;
  - natureza da corrente;
  - taxa de álcool no sangue;
  - tensão elétrica do choque.

© 2008 by Pearson Education

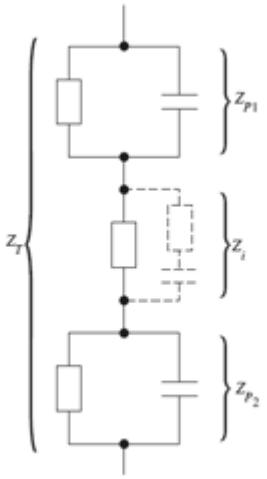


Figura 3.6 ▪ Impedância do corpo humano

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.2 ▪ Impedância total do corpo humano (Z_i) em função da tensão de contato

Tensão de contato (V)	Valores da impedância total (Ω) do corpo humano que não são ultrapassados por		
	5%	50%	95%
	da população		
25	1.750	3.250	6.100
50	1.450	2.625	4.375
75	1.250	2.200	3.500
100	1.200	1.875	3.200
125	1.125	1.625	2.875
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
Valor assintótico	650	750	850

© 2008 by Pearson Education

3.2 – Fundamentos da proteção contra choques elétricos

- Proteção básica (contato direto).
- Proteção supletiva (contato indireto).
- A regra da proteção contra choques elétricos contida na NBR 5410 estabelece que seja assegurado, no mínimo, o provimento conjunto de proteção básica e de proteção supletiva, mediante combinação de meios independentes ou mediante aplicação de uma medida capaz de prover ambas as proteções simultaneamente.

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.3 ■ Classificação dos métodos de proteção contra choques elétricos

Proteção	Tipo	Passiva	Ativa
Básica (contatos diretos)	Medida de proteção completa	Isolação das partes vivas	Limitação de tensão (SELV, PELV)
		Barreiras ou invólucros	
	Medida de proteção parcial	Obstáculos	–
		Colocação fora do alcance das pessoas	
	Medida de proteção adicional	–	Dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual de alta sensibilidade
Supletiva (contatos indiretos)	–	Eqüipotencialização	Seccionamento automático limitação de tensão (SELV, PELV)
		Isolação dupla ou reforçada	
		Separação elétrica	
		Locais não condutivos	

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.4 ■ Situações 1, 2 e 3

Condição de influência externa	Situação
BB1, BB2	1
BC1, BC2, BC3	1
BB3	2
BC4	2
BB4	3

© 2008 by Pearson Education

3.3 — Aterramento e equipotencialização

- Aterramento
  - Ligação elétrica intencional e de baixa impedância com a terra (solo).
- Ligação equipotencial
  - Ligação elétrica que coloca massas e elementos condutores praticamente no mesmo potencial.

© 2008 by Pearson Education

- Fundamentos sobre aterramento
  - Solo
  - Aterramento
  - Eletrodos de aterramento
  - Resistência de aterramento do eletrodo
  - Resistência de aterramento do conjunto eletrodo-solo
  - Eletrodos de aterramento independente
  - Tensões de passo, de falta e de contato

© 2008 by Pearson Education

- Solo
  - A terra, isto é, o solo pode ser considerado um condutor por meio do qual a corrente elétrica pode fluir, dispersando-se.

Tabela 3.6 ■ Valores típicos de resistividade de solos

Natureza do solo	Resistividade (Ω · m)
Solos alagadiços/pantanosos	5 a 30
Lodo	20 a 100
Húmus	10 a 150
Argila plástica	50
Margas e argilas compactas	100 a 200
Areia argilosa	50 a 500
Areia silicosa	200 a 3.000
Solo pedregoso nu	1.500 a 3.000
Solo pedregoso com relva	300 a 500
Calcáreos moles	100 a 400
Calcáreos compactos	1.000 a 5.000
Calcáreos fissurados	500 a 1.000
Xisto	50 a 300
Micaxisto	800
Granito/arenito	100 a 10.000

© 2008 by Pearson Education

- Aterramento
  - Aterramento funcional: consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema, geralmente o neutro, e está relacionado ao funcionamento correto, seguro e confiável da instalação.
  - Aterramento de proteção: consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando à proteção contra choques elétricos por contato indireto.

© 2008 by Pearson Education

- Eletrodo de aterramento
  - O eletrodo de aterramento é o condutor ou o conjunto de condutores enterrado(s) no solo, intimamente ligado(s) à terra para fazer um aterramento.
- Resistência de aterramento do eletrodo

$$R_T = \frac{U_T}{I} \qquad (3.3)$$

- Resistência de aterramento do conjunto eletrodo-solo

$$R = \rho \frac{d}{2\pi l} \qquad (3.4)$$

© 2008 by Pearson Education

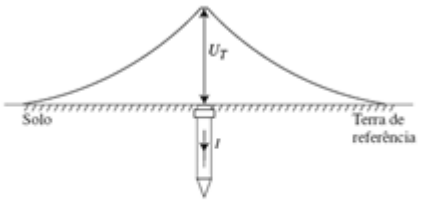


Figura 3.8 ▪ Variação das tensões geradas no solo pela passagem de corrente em um eletrodo de aterramento

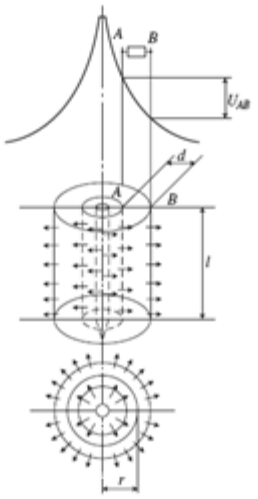


Figura 3.9 ▪ Hipótese simplificadora para a definição da resistência de aterramento do conjunto eletrodo–solo

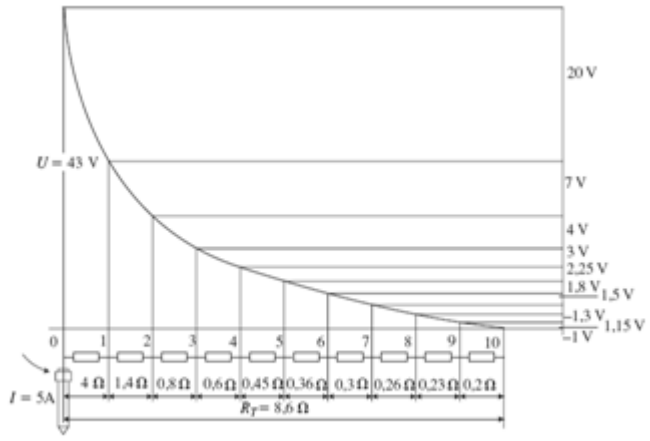


Figura 3.10 ▪ Resistência de aterramento e variação da tensão

© 2008 by Pearson Education

- Tensão de passo

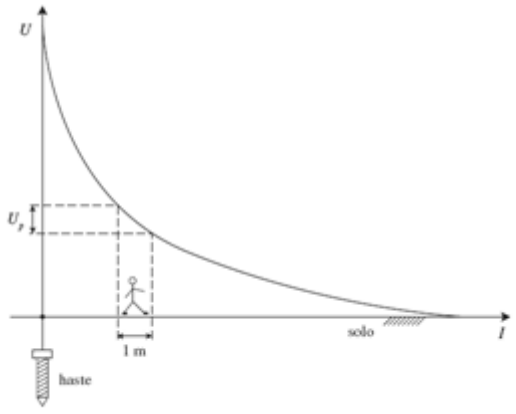


Figura 3.13 ▪ Tensão de passo U_p

© 2008 by Pearson Education

- Tensão de falta e de contato

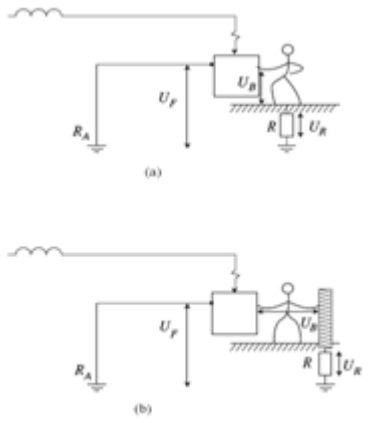


Figura 3.14 ■ Tensão de contato (U_B) e tensão de falta (U_F)

© 2008 by Pearson Education

- Eletrodos de aterramento
  - Tipos de eletrodos de aterramento

Tabela 3.7 ■ Eletrodos de aterramento mais comumente utilizáveis, de acordo com a NBR 5410

Material	Superfície	Forma	Dimensões mínimas			
			Diâmetro mm	Seção mm²	Espessura do material em mm	Espessura média do revestimento µm
Aço	Zincada a quente[1] ou inoxidável[1]	Fita[2]		100	3	70
		Perfil		120	3	70
		Haste de seção circular[3]	15			70
		Cabo de seção circular		95		50
		Tubo	25		2	55
	Capa de cobre	Haste de seção circular[3]	15			2.000
	Revestida de cobre por eletrodeposição	Haste de seção circular[3]	15			254
Cobre	Nu[1]	Fita		50	2	
		Cabo de seção circular		50		
		Cordoalha	1,8 (cada veia)	50		
		Tubo	20		2	
	Zincada	Fita[2]		50	2	40

Notas:
1. Pode ser utilizado para embutir no concreto.
2. Fita com cantos arredondados.
3. Para eletrodo de profundidade.

© 2008 by Pearson Education

- Expressões práticas da resistência do aterramento

$$R_T = \frac{2\rho}{l} \qquad (3.7)$$

$$R_T = 0{,}8\frac{\rho}{l} \qquad (3.8)$$

$$R_T = 0{,}366\frac{\rho}{l}\log\frac{3l}{a} \qquad (3.9)$$

© 2008 by Pearson Education

- Eletrodos de aterramento independentes
  - Pode-se definir eletrodos de aterramento eletricamente independentes como eletrodos localizados a distâncias entre si, uma vez que, quando um deles é percorrido pela corrente máxima para ele prevista, a variação do potencial dos demais não ultrapassa um valor específico (em geral, adota-se o valor de 50 V).

© 2008 by Pearson Education

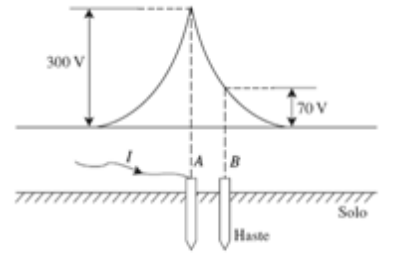


Figura 3.17 ▪ No eletrodo *B*, situado na área de influência do eletrodo *A*, aparece uma tensão devida à corrente que se dispersa por *A*

© 2008 by Pearson Education

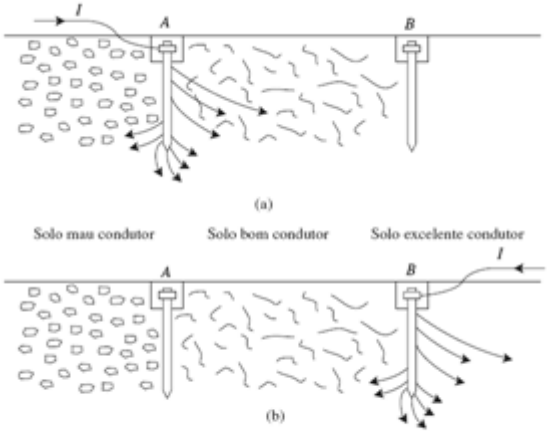
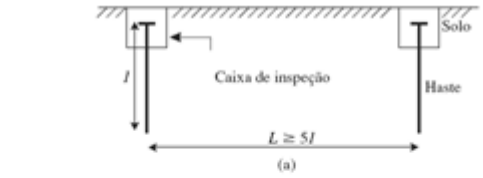


Figura 3.18 ▪ Devido às características do solo (não-homogêneo): (a) a corrente que flui do eletrodo *A* dirige-se, em sua maior parte, à área na qual está contido o eletrodo *B*; (b) a corrente que flui do eletrodo *B* atinge fracamente o eletrodo *A*. Nessas condições, *A* é independente de *B*, mas *B* pode não ser independente de *A*

© 2008 by Pearson Education



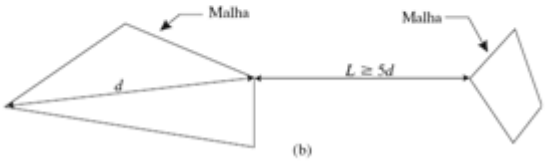


Figura 3.19 • Distância mínima de separação entre sistemas de aterramento: (a) hastes iguais; (b) malhas (indicado o contorno das malhas)

© 2008 by Pearson Education

- Componentes do aterramento de proteção e equipotencialização:
  - barramento de equipotencialização principal (BEP);
  - condutor de aterramento;
  - condutor(es) de equipotencialidade principal(is);
  - condutores de descida de pára-raios;
  - condutores de proteção principais.

© 2008 by Pearson Education

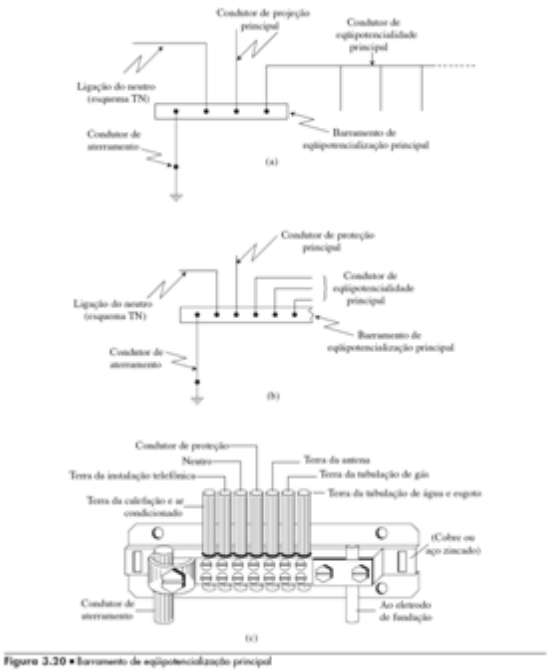


Figura 3.20 • Barramento de eqüipotencialização principal

© 2008 by Pearson Education

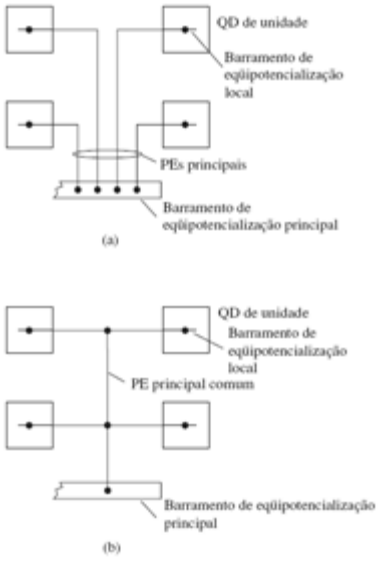


Figura 3.21 • Condutor de proteção principal

© 2008 by Pearson Education

- Esquemas de aterramento:
  - Aterramento de proteção: consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação.
  - Aterramento funcional: consiste na ligação à terra de um dos condutores vivos do sistema (em geral, o neutro).
  - De acordo com a NBR 5410, as instalações de baixa tensão devem obedecer, quanto aos aterramentos funcional e de proteção, a três esquemas de aterramento básicos, classificados em função do aterramento da fonte de alimentação da instalação (transformador, no caso mais comum, ou gerador) e das massas.

© 2008 by Pearson Education

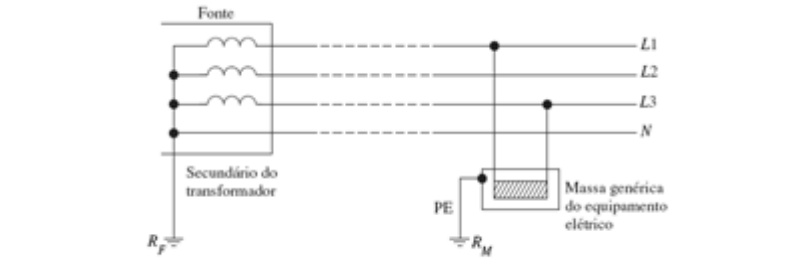
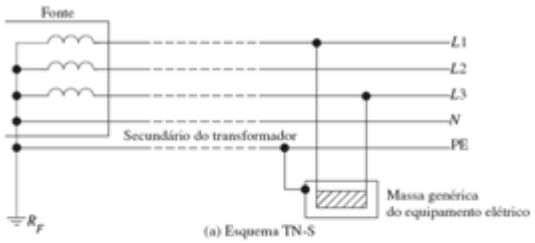
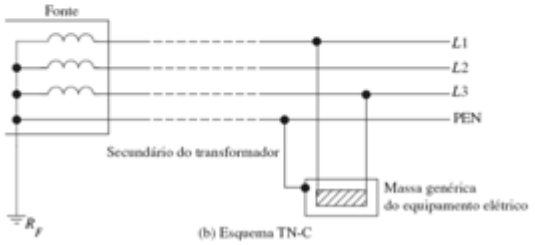


Figura 3.22 • Esquema TT

© 2008 by Pearson Education



(a) Esquema TN-S



(b) Esquema TN-C

Figura 3.23 • Esquema *TN*

Instalações elétricas 5ª edição
Cotrim

© 2008 by Pearson Education

slide 33

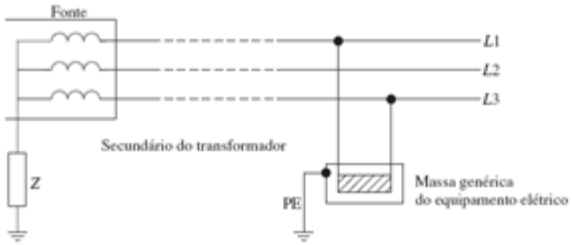


Figura 3.24 • Esquema *IT*

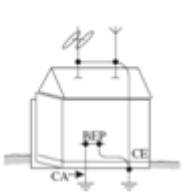
Instalações elétricas 5ª edição
Cotrim

© 2008 by Pearson Education

slide 34

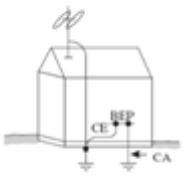
- Interligação dos aterramentos de baixa tensão, do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (pára-raios) e dos mastros das antenas.

© 2008 by Pearson Education

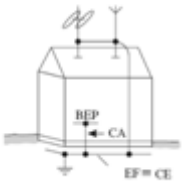


Legenda:
BEP = Barramento de eqüipotencialização principal
CE = Condutor de eqüipotencialidade
CA = Condutor de aterramento principal
EF = Eletrodo embutido na fundação ou enterrado no solo

(a) Aterramento da antena que utiliza a descida do pára-raios



(b) Aterramento exclusivo da antena sem pára-raios



(c) Aterramento da antena, do pára-raios e da instalação elétrica que utiliza um eletrodo comum (por exemplo, embutido na fundação ou enterrado no solo)

Figura 3.25 • Aterramento de SPDA, da instalação de baixa tensão e da antena

© 2008 by Pearson Education

3.4 — As isolações e os graus de proteção

- Isolação básica
  - É a isolação aplicada às partes vivas para assegurar o mínimo de proteção contra choques elétricos.
- Isolação suplementar
  - É uma isolação adicional e independente da isolação básica, destinada a assegurar a proteção contra choques elétricos no caso de falha da isolação básica.
- Isolação dupla
  - É a isolação composta por isolação básica e isolação suplementar.
- Isolação reforçada
  - É uma isolação única, não necessariamente homogênea, aplicada às partes vivas e que têm propriedades elétricas equivalentes às de uma isolação dupla.

© 2008 by Pearson Education

- Os **equipamentos elétricos** são classificados pela IEC 61140 — *Protection against electric shock — Common aspects for installation and equipment* quanto à proteção contra choques elétricos em:
  - Classe 0;
  - Classe 0I;
  - Classe I;
  - Classe II;
  - Classe III.
- Os **invólucros dos equipamentos elétricos** são classificados por *graus de proteção*, definidos pela norma NBR IEC 60529 — *Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos* (*código IP*) e indicados pelas letras "IP" e, em seguida, por dois algarismos.

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.8 ■ Valores máximos típicos de correntes de fuga

Equipamento	Corrente de fuga máxima (mA)
IEC 60335	
Classes 0, 0I e III	0,5
Portáteis classe I	0,75
Portáteis classe I com motor	3,5
Estacionários classe I	0,75 ou 0,75/kW de potência nominal, o que for maior com um máximo de 5[1]
Classe II	0,25
VDE 0720 E 0875	
Aquecedor elétrico de água doméstico tipo imersão	1,0
Eletrodoméstico a motor:	3,5
• fixo/estacionário	0,5
• portátil	
Aparelho para tratamento de pele	0,5
Ferramenta portátil	
• classe I	0,5
• classe II	0,1
Forno:	
• comum	10,0
• de microondas	0,5
• de maior porte	10,0/kW de potência nominal
Grill (doméstico)	5,0

Notas:
1. Para aparelhos elétricos de aquecimento de água, o valor máximo de 0,25 mA é fixo pela água.

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.9 ■ Graus de proteção dos invólucros contra a penetração de corpos sólidos

Proteção contra o ingresso de corpos sólidos estranhos e contra acesso a partes perigosas	
Primeiro algarismo	**Grau de proteção**
0	Nenhuma proteção de pessoas contra o contato com partes internas sob tensão ou em movimento. Nenhuma proteção do equipamento contra a penetração de corpos sólidos estranhos.
1	Proteção contra contato acidental ou inadvertido de grande superfície do corpo humano. Por exemplo, a mão, com as partes internas sob tensão ou em movimento. Não oferece, porém, proteção contra a penetração de grandes corpos sólidos estranhos.
2	Proteção contra o contato dos dedos com as partes internas sob tensão ou em movimento. Proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos de médio porte.
3	Proteção contra o contato de ferramentas, fios ou outros objetos, de dimensão mínima superior a 2,5 mm, com as partes internas sob tensão ou em movimento. Proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos de pequeno porte.
4	Proteção contra o contato de ferramentas, fios ou outros objetos, de dimensão mínima superior a 1 mm, com as partes internas sob tensão ou em movimento. Proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos de pequeno porte.
5	Proteção total contra o contato com as partes sob tensão ou em movimento dentro do invólucro. Proteção contra pó. A penetração de pó não é evitada totalmente, mas o pó não pode entrar em quantidade que possa prejudicar o funcionamento satisfatório do equipamento.
6	Proteção total contra o contato com as partes sob tensão ou em movimento. Proteção total contra a penetração de pó.

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.10 ■ Graus de proteção dos invólucros contra a penetração de líquido

Proteção do equipamento contra a penetração de líquidos	
Segundo algarismo	**Grau de proteção**
0	Nenhuma proteção contra a penetração de líquidos.
1	Proteção contra gotas de líquidos condensados. As gotas não devem prejudicar as partes internas do equipamento.
2	Proteção contra gotas de líquidos. A queda de gotas de líquidos não deve ter efeito prejudicial, com inclinação do invólucro não superior a 15° em relação à vertical.
3	Proteção contra chuva. A queda de água em forma de chuva, em ângulo não superior a 60° em relação à vertical, não deve ter efeito prejudicial.
4	Proteção contra respingos. Respingos de líquidos provenientes de qualquer direção não devem ter efeito prejudicial.
5	Proteção contra jatos de água: a água projetada por um bocal, proveniente de qualquer direção, sob as condições prescritas, não deverá ter efeito prejudicial.
6	Proteção contra as condições de convés de navios (relativamente a equipamentos à prova de água para o convés). A água de vagalhões não deve penetrar nos invólucros, sob as condições prescritas.
7	Proteção contra imersão em água. A água não deve penetrar no invólucro sob as condições prescritas de pressão e tempo.
8	Proteção contra imersão por tempo indefinido em água sob pressão prescrita. A água não deve penetrar no invólucro.

© 2008 by Pearson Education

3.5 — Proteção básica (contra contatos diretos)

- A NBR 5410 considera que a proteção básica (contra contatos diretos) possa ser de três tipos:
  - completa;
  - parcial ;
  - adicional.

© 2008 by Pearson Education

- A **proteção completa** é necessária nos locais acessíveis a qualquer tipo de pessoa, principalmente pessoas comuns (BA1), crianças (BA2) e incapacitados(BA3) e pode ser realizada por:
  - isolação básica das partes vivas;
  - por meio de invólucros; ou
  - utilizando barreiras.

© 2008 by Pearson Education

- A **proteção parcial** contra contatos diretos só é admitida em locais acessíveis apenas a pessoas advertidas (BA4) ou qualificadas (BA5) e, mesmo assim, se forem atendidas as seguintes condições:
  - As tensões nominais dos circuitos existentes não podem ser superiores a 600 V entre fase e terra ou a 1.000 V entre fases, para corrente alternada, ou a 900 V entre polo e terra ou a 1.500 V entre polos, para corrente contínua.
  - Os locais devem ser adequadamente sinalizados – de forma clara e visível –, por meio de indicações apropriadas.
- Essa proteção pode ser realizada por meio de obstáculos e/ou por colocação fora de alcance.

© 2008 by Pearson Education

- A **proteção adicional** não é reconhecida pela NBR 5410 como constituindo em si uma medida de proteção completa e não dispensa de maneira alguma o emprego de medidas de proteção completa ou parcial, conforme o caso. Seu objetivo é assegurar uma proteção contra contatos diretos, no caso de falha das medidas aplicadas ou de descuido ou imprudência dos usuários.
- O uso de dispositivos de proteção diferenciais-residuais (DR) com corrente diferencial-residual nominal igual ou inferior a 30 mA é reconhecido como proteção adicional contra contatos diretos.

© 2008 by Pearson Education

- Os casos em que o uso de dispositivo diferencial-residual de alta sensibilidade como proteção adicional é obrigatório são os seguintes:
  - os circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo banheira ou chuveiro;
  - os circuitos que alimentem tomadas de corrente (cada tomada até 32 A) situadas em áreas externas à edificação;
  - os circuitos de tomadas de corrente (cada tomada até 32 A) situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos na área externa;
  - os circuitos que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens. Exclui-se dessa exigência os pontos que alimentem aparelhos de iluminação posicionados a uma altura igual ou superior a 2,50 m;
  - os circuitos que, em edificações não residenciais, sirvam a pontos de tomada (cada tomada até 32 A) situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.

© 2008 by Pearson Education

3.5 — Proteção básica — Omissão da proteção

- A norma admite que sejam omitidas as medidas de proteção contra contatos diretos nos locais acessíveis somente a pessoas advertidas (BA4) ou qualificadas (BA5), desde que elas sejam devidamente instruídas com relação às condições do local e às tarefas a serem executadas, se forem simultaneamente atendidas as seguintes condições:
  - Os locais devem ser sinalizados de maneira clara e visível; não é possível entrar nos locais, a não ser com o auxílio ou a liberação de algum dispositivo especial.
  - As portas de acesso aos locais devem permitir a fácil saída das pessoas, abrindo no sentido da fuga (abrindo para fora). A abertura das portas, pelo lado interno dos locais, deve ser possível sem o uso de chaves, mesmo que as portas sejam fechadas à chave pelo lado de fora.
  - As passagens cuja extensão for superior a 20 m devem ser acessíveis nas duas extremidades, recomendando-se que as passagens de serviço menores, mas com comprimento superior a 6 m, também sejam acessíveis nas duas extremidades.
  - As passagens livres devem obedecer às distâncias mínimas indicadas na Tabela 3.11 e ilustradas nas figuras 3.28, 3.29 e 3.30.

© 2008 by Pearson Education

Tabela 3.11 ▪ Distâncias mínimas a serem observadas nas passagens de serviço (considerando os serviços de manutenção e operação)

Descrição	Distância mínima (m)	
	Proteção completa ou parcial existente	Proteção inexistente[2]
Entre obstáculos[1]	0,7	–
Entre manípulos de dispositivos elétricos (punhos, volantes, alavancas etc.)[1]	0,7	–
Entre obstáculos e parede[1]	0,7	–
Entre manípulos e parede[1]	0,7	–
Altura de passagem sob tela ou painel[1]	2,0	–
Apenas um dos lados apresenta partes vivas desprotegidas:		
▪ entre paredes e partes vivas	–	1,0
▪ passagem livre defronte a manípulos de dispositivos elétricos (punhos, volantes, alavancas etc.)	–	0,7
Ambos os lados apresentam partes vivas desprotegidas:		
▪ entre partes vivas de cada lado em passagem destinada somente à manutenção, prevendo que qualquer trabalho de manutenção seja precedido de colação de barreiras protetoras.	–	1,0
▪ entre partes vivas de cada lado em passagem destinada somente à manutenção, não sendo previstos a colocação de barreiras.	–	1,5
▪ passagem destinada tanto à operação quanto à manutenção prevendo antecipadamente a colocação de barreiras.	–	1,2
▪ passagem destinada tanto à operação quanto à manutenção, sem colocação de barreiras.	–	1,5
▪ passagem livre destinada à manutenção defronte e a manípulos de dispositivos elétricos (punhos, volantes e alavancas).	–	0,9
▪ passagem livre destinada à manutenção defronte e a manípulos de dispositivos elétricos (punhos, volantes para a equipe de operação).	–	1,1
Altura das partes vivas acima do solo	–	2,3

Notas:
1. Consideradas as partes dos painéis montadas e fechadas.
2. Considerando que sejam colocadas barreiras adequadas antes de ser iniciado o serviço de manutenção ou de operação.

© 2008 by Pearson Education

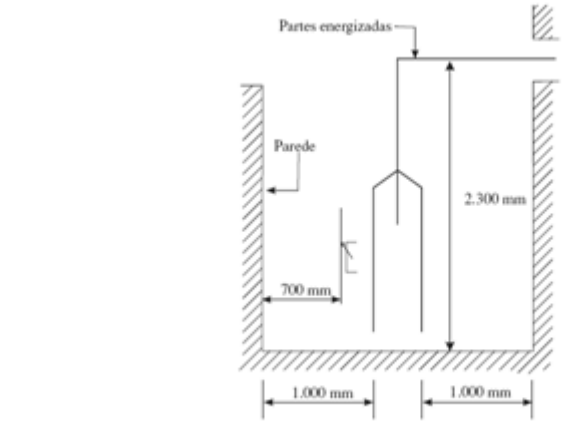
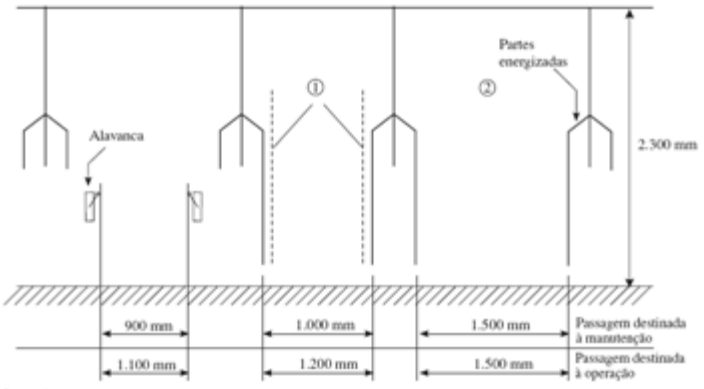


Figura 3.28 ▪ Passagens sem proteção com partes energizadas de um único lado

© 2008 by Pearson Education



Legenda:

1. Caso em que todo trabalho de manutenção é precedido da colocação de barreiras protetoras.
2. Caso em que os trabalhos de manutenção não são precedidos da colocação de barreiras protetoras.

Figura 3.29 ▪ Passagens destinadas à operação e à manutenção em locais sem proteção com partes energizadas (vivas) dos dois lados

© 2008 by Pearson Education