

Sumário

8.1	Introdução	5
8.2	Sobrecorrentes	5
8.2.1	Dispositivos de Proteção contra Sobrecorrentes	7
8.3	Choque Elétrico	11
8.3.1	Os Perigos da Corrente Elétrica	12
8.3.2	Tensão de Contato	14
8.3.2.1	Tensão de Toque	17
8.3.2.2	Tensão de Passo	17
8.3.3	Corrente de Fuga	17
8.3.4	Dispositivos de Proteção à Corrente Diferencial-Residual	19
8.3.4.1	Funções Adicionais dos DR's	22
8.3.4.2	Causas de Disparo dos DR's	22
8.3.4.3	Interruptor Diferencial-Residual (IDR)	23
8.3.4.4	A Instalação dos DR's	23
8.4	Aterramento	24
8.4.1	Funções Básicas dos Sistemas de Aterramento	25
8.4.2	Esquemas de Aterramento	27
8.4.2.1	Esquema TT	28
8.4.2.2	Esquema IT	29
8.4.2.3	Esquema TN	30
8.4.2.4	Escolha do Esquema de Aterramento	32
8.4.3	Componentes dos Sistemas de Aterramento	34
8.4.3.1	Eletrodo de Aterramento	34
8.4.3.2	Condutor de Aterramento	36
8.4.3.3	Terminal de Aterramento Principal (TAP)	36
8.4.3.4	Condutor de Proteção Principal	36
8.4.3.5	Condutores de Equipotencialidade	36
8.4.3.6	Condutores de Proteção das Massas (PE)	36
8.4.3.7	Condutor PEN	36
8.4.3.8	Resistência de Aterramento	36
8.4.4	Descrição do Sistema de Aterramento de Nossa Residência	37
8.5	Recapitulação	39

Página intencionalmente em branco

8.1 Introdução

O aterramento e a escolha dos dispositivos de proteção, estão entre as principais fontes de problemas nas instalações elétricas de baixa tensão.

Isto se dá em virtude de idéias e procedimentos totalmente equivocados, seguidos e postos em prática pelos projetistas e instaladores. Veja alguns:

- como em um passe de mágica, *as correntes que vão para a terra são por ela absorvidas;*
- *para proteger contra choques elétricos, basta aterrar as “massas” dos equipamentos (carcaças e invólucros metálicos) — o que é pior: usando, para isto, o condutor neutro;*
- *o aterramento dos equipamentos eletrônicos deve ser independente do aterramento da telefonia, que, por sua vez, deve ser independente da proteção contra descargas atmosféricas, que, por sua vez, ...*

Esta lição vai estabelecer os procedimentos corretos para garantir a segurança das pessoas e dos bens contra os perigos e danos que podem ser causados pelas instalações elétricas.

8.2 Sobrecorrentes

Sobrecorrente é qualquer corrente acima do valor nominal pré-fixado para um equipamento ou circuito. Trata-se de um conceito exclusivamente quantitativo, isto é: para um valor nominal de 50A, tanto uma corrente de 51A quanto outra de 5000A seriam, da mesma forma, sobrecorrentes.

A NBR5410 as separa em dois tipos, conforme as causas que lhes dê origem.

Sobrecarga — sobrecorrentes em circuitos sem falta (ou “sadios”), acarretadas pela alimentação de cargas cujas potências nominais sejam superiores àquelas para as quais o circuito tenha sido dimensionado. São casos típicos:

- motores acionando cargas (permanentes ou transitórias) acima de sua potência nominal;
- substituição de equipamentos por outros de maior potência;
- inclusão de equipamentos não previstos originalmente para o circuito.

As correntes de sobrecarga, embora normalmente não superem muito as nominais, têm que ser eliminadas no menor tempo possível, pois os efeitos térmicos que provocam

Revisão do Significado Eletrotécnico de Alguns Termos

Da mesma forma que o termo **carga** é muito usado para indicar:

- equipamento elétrico que absorve potência;
- potência ou corrente transferida por um equipamento;
- potência instalada;

é usual dizer que um equipamento (ou circuito) encontra-se **funcionando em carga**, quando estiver transferindo potência ou corrente.

Seu oposto é o **funcionamento em vazio** — condição em que não há transferência de potência, sendo normais todas as demais condições de funcionamento.

Se em uma instalação ou equipamento, por falha de isolamento, partes sob potenciais diferentes entram em contato entre si, diz-se haver uma **falta direta**.

Caso não haja contato, mas um arco elétrico seja estabelecido entre as partes, diz-se haver uma **falta indireta**.

Há ainda a **falta para terra**, quando o contato ocorrer com uma parte aterrada.

Não é preciso dizer que esta corrente derreteria a isolamento dos condutores e forneceria todos os ingredientes para o início de um bom incêndio !!!

são prejudiciais, entre eles: aumento do consumo de energia, quedas de tensão, mal funcionamento dos aparelhos, danos irreversíveis aos interruptores e tomadas, além de drástica redução da vida útil dos condutores (este último aspecto está bem caracterizado no exemplo do item 7.2).

Correntes de Falta — são correntes elevadíssimas, principalmente as ocasionadas por falta direta (chamadas de correntes de curto-circuito), que podem atingir de 1000% a 10000% do valor nominal e, por consequência, submetem repentinamente os equipamentos e condutores a enormes solicitações térmicas e mecânicas, inutilizando-os e podendo dar origem a incêndios.

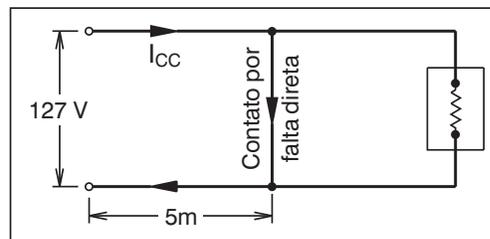


Figura 8.1: o curto-circuito.

Observe a figura 8.1, onde, devido a uma falta direta, a corrente, ao invés de circular pela carga, “escolheu o caminho mais fácil” do curto-circuito (menor impedância).

A intensidade da corrente I_{cc} (“cc” denotando curto-circuito) pode ser calculada pela expressão 2.8 ($I = U / Z$), ou seja, fica limitada pela impedância do “caminho” (condutores, resistência do contato que deu origem à falta, conexões etc.).

Na prática, a expressão 2.8 é simplificada, pois considera-se a impedância igual tão somente à resistência dos condutores, ou seja:

$$I = U / R \dots\dots\dots (a)$$

Esta simplificação é possível porque, em relação aos valores das resistências dos condutores, são desprezíveis as suas respectivas reatâncias (para cabos até 35 mm²), bem como as resistências dos contatos e das conexões.

Então, se o circuito da figura 8.1 tivesse sido construído com condutores de seção nominal de 1,5mm², isolados em PVC e instalados em eletrodutos não magnéticos — para os quais a tabela 6.3 indica que a resistência é igual a 14,48 [Ω/km] —, pela expressão (a), como o comprimento do circuito é de 2 x 5m = 10m, a corrente de curto seria:

$$I_{cc} = \frac{127}{10 \times \frac{14,48}{1000}} = 877 A$$

8.2.1

Dispositivos de Proteção contra Sobrecorrentes

Os *fusíveis* e os *disjuntores termomagnéticos* são os dois dispositivos mais utilizados para proteger os circuitos elétricos e os bens por eles servidos contra os malefícios das sobrecorrentes.

Como o nome já indica, os fusíveis atuam pela fusão de um elemento metálico, de liga especial, dimensionado para uma determinada capacidade de condução de corrente, de forma tal que, ocorrendo sobrecorrente, a fusão interrompe o circuito em um determinado tempo (veja o gráfico da figura 8.2). Entretanto, como são dispositivos que não permitem ajuste de funcionamento, isto é, de seu tempo e corren-

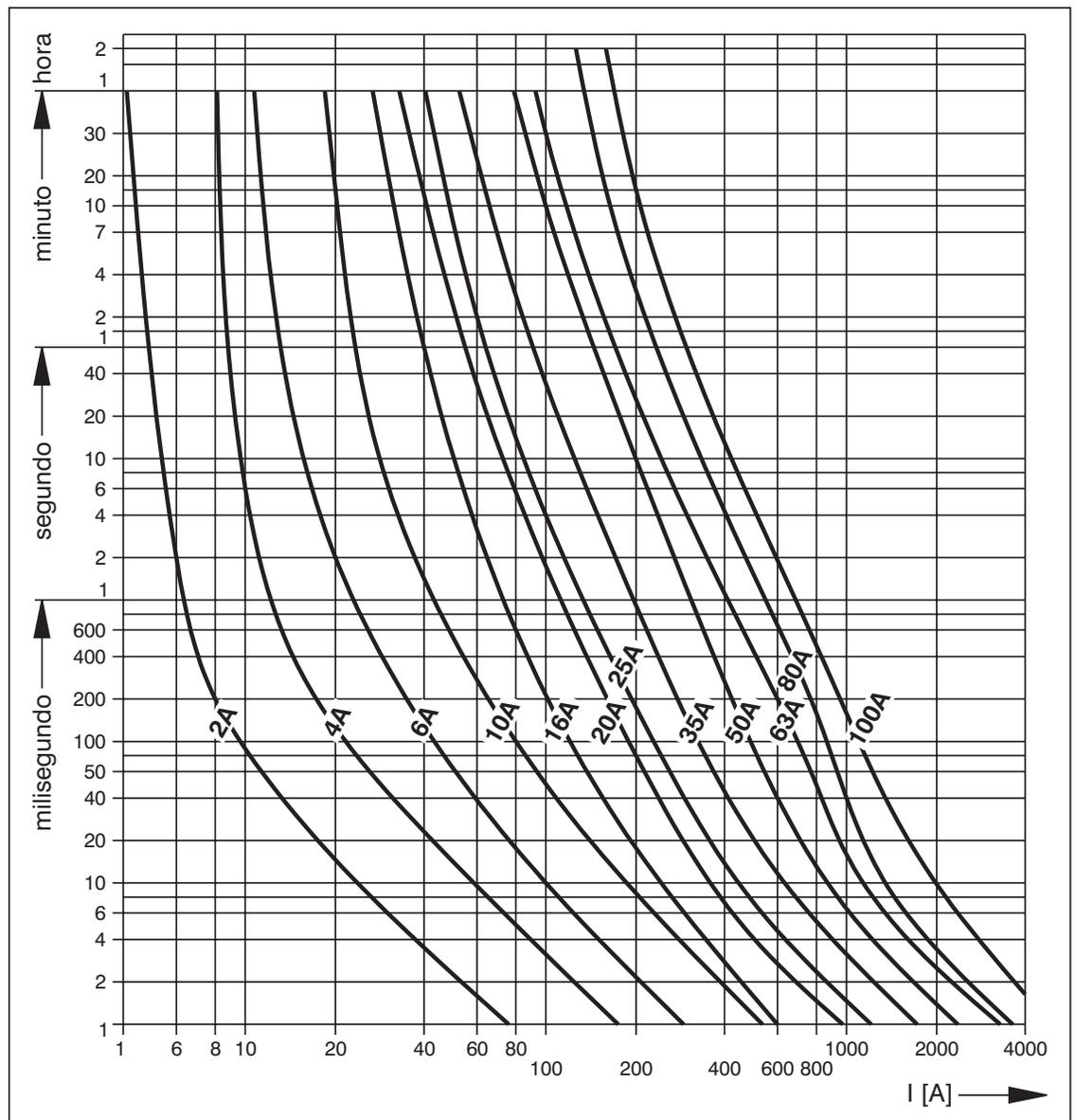
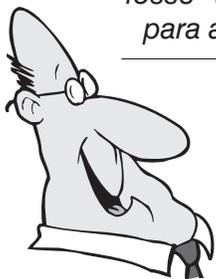


Figura 8.2: curva típica de atuação (tempo \times corrente) dos fusíveis.

Em condições normais, quando a corrente do circuito não ultrapassa o valor nominal que para ele foi fixado, seu dispositivo de proteção contra sobrecorrente não atua (é como se ele fosse “transparente” para a instalação).



te de atuação, os fusíveis não são recomendados para proteção contra sobrecargas leves e moderadas.

Em contra partida, apresentam excelente performance na proteção contra curto-circuitos, interrompendo estas correntes antes que atinjam o valor de crista.

Além da limitação ao uso já apontada, outra desvantagem dos fusíveis é o fato de serem unipolares. Por isto, caso o circuito não disponha de proteção contra falta de fase, eles podem causar severos danos aos motores.

Ainda que com função análoga à dos fusíveis, os disjuntores termomagnéticos são os dispositivos de proteção mais empregados nas instalações elétricas em baixa tensão.

Encamisados em compacta caixa moldada de material isolante, são inseridos somente nos condutores fase da instalação, atuando por meio de dois dispositivos de proteção, ambos ajustáveis às características do circuito:

- um disparador térmico, que interrompe a(s) fase(s) em caso de sobrecargas;
- um disparador magnético, que interrompe a(s) fase(s) em caso de curto-circuito.

Ao contrário dos fusíveis que, exceto com o auxílio de “chaves faca”, não permitem isolar o circuito para efetuar manutenção, os disjuntores termomagnéticos permitem fazê-lo, pois trazem um interruptor externo; motivo pelo qual devem ser escolhidos de acordo com a quantidade de fases dos circuitos que irão proteger, para que possam desarmar todos os polos (veja a figura 8.3).

Sua especificação correta requer a indicação das seguintes características:

- número de polos;
- tensão nominal [V];
- frequência do circuito [Hz];
- capacidade de ruptura ou de interrupção [kA] — valor, garantido pelo fabricante, da maior corrente que o disjuntor, sem sofrer danos, é capaz de interromper sob determinada tensão;
- corrente nominal [A] — valor eficaz da corrente de regime contínuo (I_n), garantido pelo fabricante, que o disjuntor, sem sofrer danos, é capaz de conduzir indefinidamente;
- faixa de ajuste dos disparadores térmico e magnético (quando o permitem).

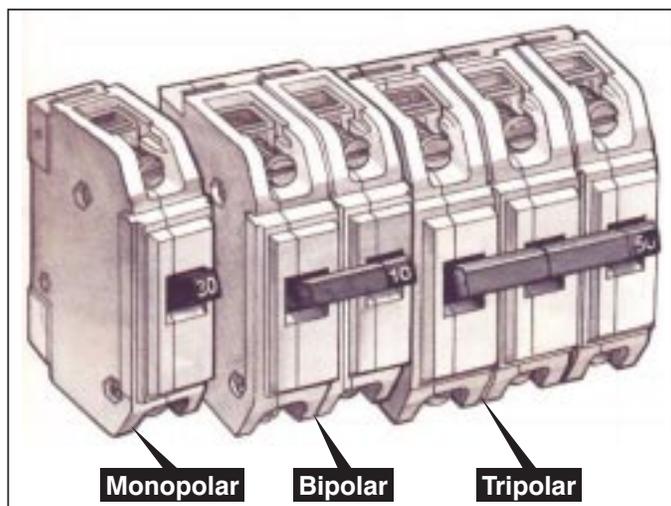


Figura 8.3:
disjuntores termomagnéticos (mono, bi e tripolares).

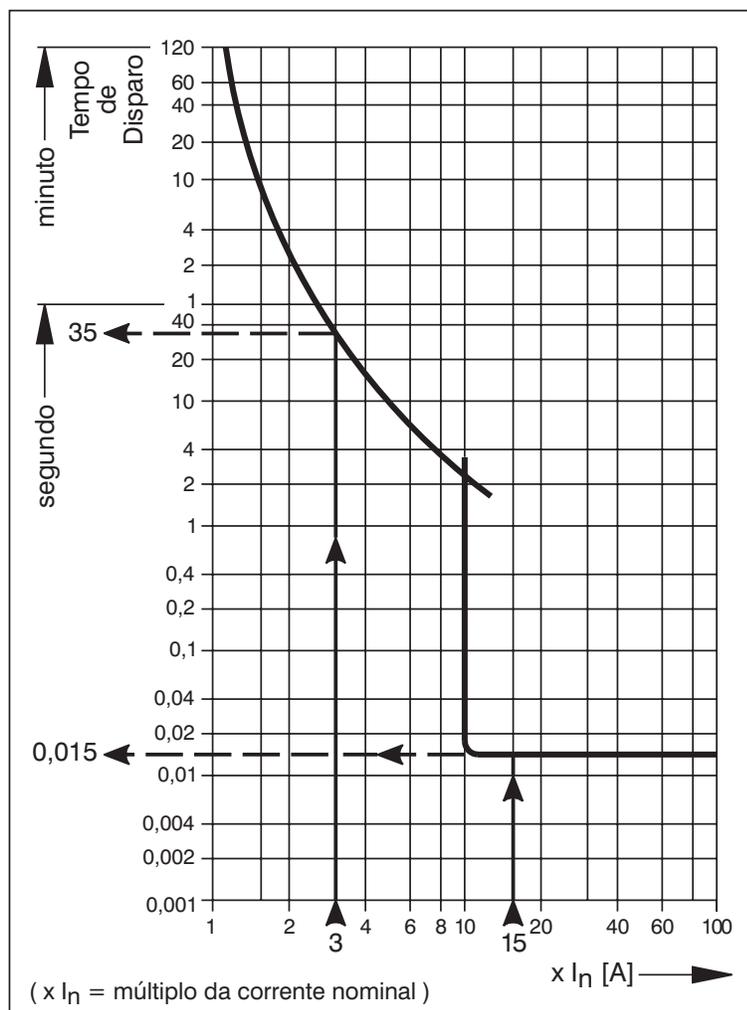
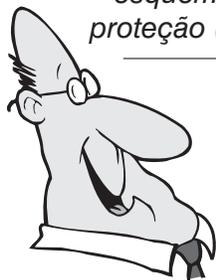


Figura 8.4:
curva típica de atuação (tempo × corrente)
dos disjuntores termomagnéticos.

No caso de correntes da ordem de miliampères, os disjuntores termomagnéticos não têm sensibilidade suficiente para desarmar o circuito; sendo preciso utilizar esquemas especiais de proteção (veja o item 8.3.4)



Na figura 8.4, que mostra a curva tempo × corrente de um disjuntor termomagnético típico, o trecho superior, em forma de arco de círculo, representa a faixa de atuação do disparador térmico. Observe que, quanto maior a corrente, menor é o tempo de disparo (característica chamada de **tempo inverso**).

O trecho inferior, com o formato da letra “L”, representa a faixa de atuação do disparador magnético. Observe que, para este, são definidos valores apenas a partir de certa intensidade de corrente (via de regra, acima de 10 vezes a corrente nominal do disjuntor).

Para cada disjuntor, os fabricantes fornecem a curva característica correspondente.

Ainda como mostra a figura 8.4, na suposição de que ela correspondesse a um disjuntor termomagnético de corrente nominal I_n de 200A, se o circuito fosse percorrido por uma sobrecorrente I de 600A, originada por alguma sobrecarga, o tempo de disparo do dispositivo de proteção térmica seria de 35 segundos — correspondente à ordenada da intersecção da abscissa $I/I_n = 600/200 = 3$ com o

trecho superior, em forma de arco de círculo.

Analogamente, se ocorresse um curto-circuito, que originasse uma corrente I de 3kA no ponto em que o disjuntor estivesse inserido, o tempo de disparo do dispositivo de proteção magnética do disjuntor seria de 0,015 segundos — correspondente à ordenada da intersecção da abscissa $I/I_n = 3000/200 = 15$ com o trecho inferior, no formato da letra “L”.

Estes resultados são típicos dos disjuntores termomagnéticos, isto é: demoram bem mais para atuarem no caso de sobrecarga que no de curto-circuito.

A tabela 8.1 mostra as informações mínimas que devem ser obtidas dos fabricantes para permitir a escolha dos disjuntores.

Tabela 8.1
Características Típicas dos Disjuntores Termomagnéticos

Características Elétricas

Normas de Referência: NBR 5361 – NBR 8176

Frequência: 50 / 60Hz

Correntes Nominais [A]:

Unipolares	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70		
Bipolares e Tripolares	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	90	100

Limiar de Atuação Magnética:

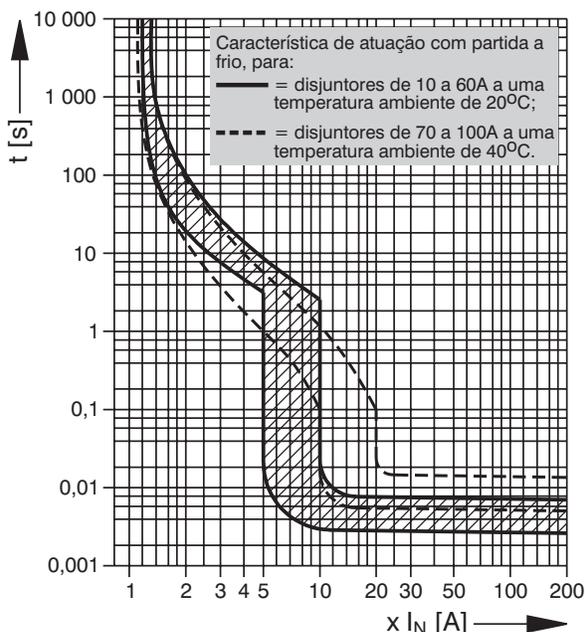
10 a 60A → 5 a 10 I_N

70 a 100A → 10 a 20.I_N

Capacidade de Interrupção [kA]:

Tensão de Funcionamento [V]	Número de Polos		
	1	2	3
127	5,0	—	—
220	3,0	5,0	5,0
380	—	4,5	3,0

Curvas de Atuação



Correntes Nominais I_N [A] em Função da Temperatura Ambiente

20°C		30°C		40°C		50°C	
Unipolar	Multipolar	Unipolar	Multipolar	Unipolar	Multipolar	Unipolar	Multipolar
10		9,5	9,6	9,0	9,2	8,5	8,8
15		14,3	14,4	13,5	13,8	12,8	13,2
20		19,0	19,2	18,0	18,4	17,0	17,6
25		23,8	24,0	22,5	23,0	21,3	22,0
30		28,5	28,8	27,0	27,6	25,5	26,4
35		33,3	33,6	31,5	32,2	29,8	30,8
40		38,0	38,4	36,0	36,8	34,0	35,2
50		47,6	48,0	45,0	46,0	42,5	44,0
60		57,0	57,6	54,0	55,2	51,0	52,8
77	74,9	73,5	72,8	70		67,2	57,9
	96,3	—	93,6	90		—	67,3
	107	—	104	100		—	97,0

Notas:
 – os disjuntores de 10 a 60A são referidos a temperatura ambiente de 20°C;
 – os disjuntores de 70 a 100A são referidos a temperatura ambiente de 40°C.

8.3 Choque Elétrico

É objeto de constante preocupação dos especialistas alertar as pessoas sobre os perigos que a corrente elétrica representa ao atravessar o corpo humano — os efeitos patofisiológicos daí resultantes sendo chamados de **choque elétrico**.

A este respeito, a IEC reuniu na Publicação Nº 479-1, “*Effects of Current Passing Through The Human Body*”, de 1984, os estudos e experiências realizados em diversos países. No que tange à proteção de pessoas e animais contra o choque elétrico, este documento tornou-se a base de referência das principais normas internacionais, do Brasil inclusive (NBR 5410).

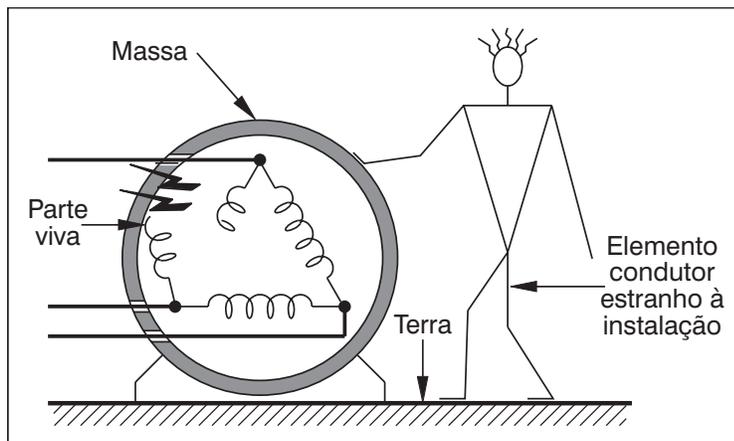


Figura 8.5:
parte viva, massa e condutor estranho à instalação

A figura 8.5 esquematiza os três elementos fundamentais no estudo da proteção contra os choques.

A parte condutora de um componente elétrico ou de uma instalação, com diferença de potencial em relação à terra, é chamada de **parte viva** — para as linhas elétricas, diz-se condutores vivos, termo que inclui a(s) fase(s) e o neutro.

A parte condutora de um componente elétrico ou de uma instalação, que pode ser tocada facilmente e que, normalmente, não é viva, mas assim pode tornar-se em condições de faltas e defeitos, é chamada de **massa** — as carcaças metálicas dos equipamentos são exemplos típicos.

O elemento condutor, que não faz parte da instalação, mas que nela pode introduzir um potencial (geralmente o da terra), é chamado **elemento condutor estranho à instalação** — dois exemplos típicos: o corpo humano e as tubulações metálicas das residências.

O choque elétrico pode ocorrer por dois diferentes tipos de contato:

- **contato direto:** quando a parte viva é tocada. Na maioria dos casos, o contato com a parte viva resulta de falha de isolamento, ruptura ou, até mesmo, de remoção indevida de partes isolantes (sub- produtos da imprudência e negligência).
- **contato indireto:** quando é tocada uma massa que, por falta ou defeito interno, está viva.

O choque por este tipo de contato é imprevisível e mais frequente do que se imagina, razão que levou a NBR 5410 a lhes dar ênfase especial.

8.3.1

Os Perigos da Corrente Elétrica

Qualquer atividade biológica, seja glandular, nervosa ou muscular, é originada por impulsos elétricos. Quando, por choque, à corrente fisiológica soma-se outra de origem externa, as funções vitais do organismo humano são alteradas e, dependendo de certos fatores, poderá acarretar até a morte. Fundamentalmente, são quatro os efeitos que a corrente elétrica produz no organismo humano:

- **Tetanização** — contração muscular provocada pela circulação da corrente através dos tecidos nervosos. Este efeito sobrepõe-se ao comando cerebral. A partir de certo valor (em corrente alternada, 50/60Hz: 6 a 14mA, para mulheres, e 9 a 23mA, para homens), a corrente provoca a contração total do músculo, impedindo, por exemplo, que algum objeto que esteja sendo segurado possa ser largado, motivo de ser conhecido como **limiar de não largar**.
- **Parada Respiratória** — se a corrente de choque atingir valores superiores aos do limiar de não largar, a tetanização atinge os músculos peitorais e a função respiratória é afetada. Por esta razão, é importante a respiração artificial no socorro imediato às vítimas de choque elétrico.
- **Queimadura** — como o corpo humano tem certa resistência elétrica, a circulação de corrente provoca calor (Efeito Joule), produzindo queimaduras, que são mais intensas nos pontos de entrada e saída da corrente (onde a densidade de corrente é maior, pois, não só a resistência da epiderme é superior a dos tecidos internos, como também há a resistência da interface de contato). As queimaduras por choque são profundas e podem levar à morte por insuficiência renal.
- **Fibrilação Ventricular** — no ser humano, o músculo cardíaco contrai-se 60 a 100 vezes por minuto em virtude dos impulsos elétricos gerados no nódulo seno-atrial do coração. Quando a estes, somam-se e sobrepõem-se impulsos externos devidos a choque elétrico, dependendo da intensidade da corrente e da duração do contato, a frequência do batimento poderá ser alterada, produzindo arritmia, e o coração não ser mais capaz de exercer sua função vital. A fibrilação ventricular é praticamente irreversível, pois, apesar dos bons resultados que podem ser conseguidos pelo pronto socorro com desfibriladores cardíacos, via de regra não há tempo para usá-los, já que o tempo para comprometimento do coração e do cérebro é de apenas três minutos.

A tabela 8.2 informa sobre os efeitos da corrente elétrica no ser humano.

A figura 8.6, extraída da Publicação Nº 479-1 da IEC, define quatro zonas de efeitos para o choque elétrico.

Os perigos dos choques diminuem com o aumento da frequência da corrente, uma vez que a tendência destas é de passar pela parte externa do corpo, não afetando órgãos vitais.

Tabela 8.2 Efeitos da Corrente Elétrica Alternada, na Frequência de 15 a 100Hz, em Indivíduos com 50kg de Massa Corporal, ao Percorrer o Trajeto da Mão Esquerda aos Pés	
Corrente [mA]	Efeitos Fisiológicos
0,1 a 0,5	Leve percepção superficial, na forma de pequeno “formigamento” e habitualmente sem nenhum efeito.
0,5 a 10	Ligeira paralisia dos músculos do braço, com início de tetanização, habitualmente sem nenhum efeito.
10 a 30	Mesmo efeito da corrente de 0,5 a 10mA. Geralmente sem nenhum efeito perigoso, desde que haja interrupção, no máximo, em 5 segundos.
30 a 500	Efeitos fisiológicos notáveis. Paralisia estendida aos músculos do tórax, com sensação de falta de ar e tontura. Possibilidade de fibrilação ventricular, quando a descarga elétrica se manifesta na fase crítica do ciclo cardíaco e por tempo superior a 200ms.
acima de 500	Efeitos fisiológicos graves. Traumas cardíacos persistentes, caso em que o efeito é letal, salvo intervenção imediata de pessoal especializado com equipamento adequado (desfibrilador).

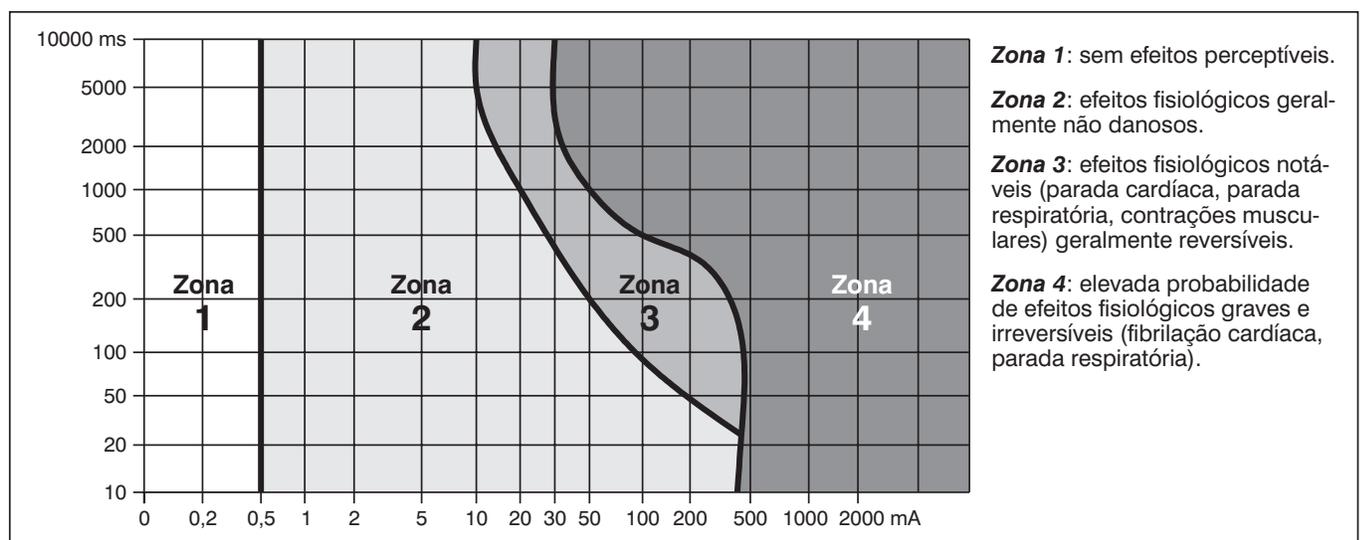


Figura 8.6:
zonas tempo-corrente de efeitos de corrente elétrica alternada, na frequência de 15 a 100Hz, ao percorrer o trajeto da mão esquerda aos pés dos indivíduos de 50kg de massa corporal.

8.3.2 Tensão de Contato

Como fica patente pela figura 8.6, a intensidade da corrente e o tempo de sua circulação através do corpo humano são determinantes para os efeitos do choque elétrico.

A intensidade da corrente depende da diferença de potencial a que o indivíduo fica submetido por ocasião do choque e da impedância do trajeto que a corrente percorre, para a qual contribuem a resistência do corpo e a resistência de contato.

A NBR 5473 define tensão de contato U_B como a que pode aparecer acidentalmente entre dois pontos simultaneamente acessíveis — no choque elétrico, a tensão de contato é a diferença de potencial a que a pessoa fica sujeita ao tocar simultaneamente dois pontos que se encontrem sob potenciais diferentes.

O perigo não está em tocar um objeto sob tensão, mas em tocar simultaneamente objetos sob tensões diferentes.

De maneira geral, as pessoas encontram-se em contato com o solo, piso ou parede, que são elementos com potencial elétrico bem definidos, geralmente o da terra. Dessa forma, exceto se portando calçado ou luvas isolantes, há perigo de choque em qualquer contato com objetos sob potencial diferente.

Para confirmar esta afirmativa, considere a figura 8.7, onde a tensão de falta U_F é a diferença de potencial que, ha-

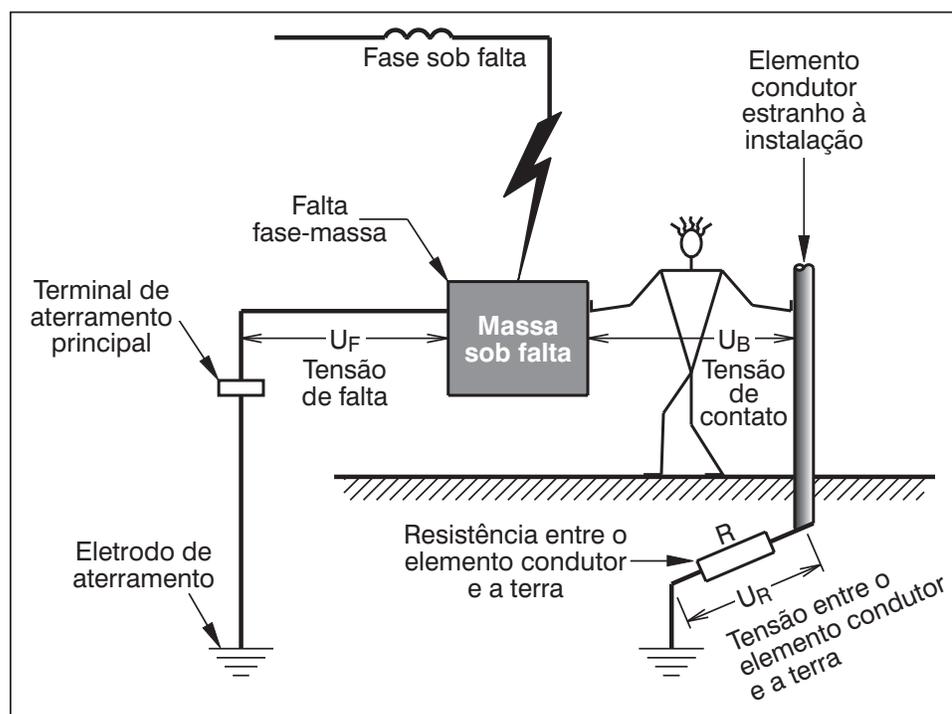


Figura 8.7: visão esquemática do choque elétrico.

sendo falha de isolamento, surge entre a massa e o eletrodo de aterramento.

Como a pessoa está no potencial da terra, pois existe contato entre elementos condutores, pode-se escrever:

$$R = 0 \rightarrow U_R = 0 \dots \dots \dots (a)$$

Porém, como:

$$U_F = U_B + U_R \dots \dots \dots (b)$$

então, levando (a) em (b)

$$U_F = U_B$$

Como medida de segurança contra choques elétricos, a NBR 5410 considera a tensão de falta, pois, pela igualdade (b), em geral ela é superior à tensão de contato.

Na figura 8.7, a tensão U_R depende do valor da resistência R , que é função da natureza do contato entre o corpo da pessoa e o potencial da terra, cujas características são codificadas pela NBR 5410, como mostra a tabela 8.3.

Estudos demonstram que a resistência do corpo humano não é constante, mas varia de acordo com diversos fatores, veja um resumo na tabela 8.4.

O limite admissível da tensão de contato — chamado tensão de contato limite U_L , igual ao produto da corrente que percorre o corpo pela sua resistência total e correspondente ao mais alto valor com que U_B pode se manifestar no caso de ocorrer falta de impedância desprezível — é o critério para especificar a proteção contra o choque elétrico.

Tabela 8.3
Contato de Pessoas com o Potencial da Terra

Código	Classificação	Características	Exemplos
BC1	Nulos	Pessoas que se encontram em locais não condutores.	Locais em que os pisos e paredes são isolantes (madeira e alvenaria, respectivamente) e que não possuam nenhum elemento condutor (salas e quartos).
BC2	Fracos	Pessoas que, sob condições habituais, não correm risco de entrar em contato com elementos condutores ou que não estejam sobre superfícies condutoras.	Locais em que os pisos e paredes são isolantes e que possuam elementos condutores em pequena quantidade ou de pequenas dimensões, cuja probabilidade de contato possa ser desprezada (por exemplo, salas e quartos das residências).
BC3	Frequentes	Pessoas em contato com elementos condutores ou postadas sobre superfícies condutoras.	Locais em que os pisos e paredes não são isolantes e/ou possuam grandes ou inúmeros elementos condutores (cozinhas, banheiros e locais externos).
BC4	Contínuos	Pessoas em contato permanente com paredes metálicas e cujas possibilidades de interromper o contato sejam limitadas.	Locais, como caldeiras ou recipientes metálicos, cujas dimensões sejam tais que pessoas, no seu interior, estejam continuamente em contato com as paredes. A redução da liberdade de movimentos das pessoas pode impedi-las de romper voluntariamente o contato e, ao tentar fazê-lo, aumentar o risco de contato involuntário.

Para simplificar a aplicação deste critério ao dimensionamento dos dispositivos de proteção, a NBR 5410 estabeleceu quatro condições de resistência elétrica para o corpo humano (BB1 a BB4) e, a partir daí, em função da tensão de contato, calculou as respectivas correntes de choque. Estes dados estão agrupados na tabela 8.5.

Tabela 8.4
Principais Variáveis que Influem no Valor da Resistência Elétrica do Corpo Humano

Tensão de contato	A resistência do corpo diminui com o aumento da tensão aplicada, ocorrendo as maiores variações nos níveis de tensão mais baixos (veja a tabela 8.5).
Natureza da corrente	A resistência do corpo, medida em corrente contínua e na frequência de 50-60Hz, é praticamente a mesma. Em frequências elevadas, a resistência diminui sensivelmente.
Estado da pele	A maior parte da resistência do corpo está concentrada na pele, nos pontos de entrada e de saída da corrente. A umidade diminui a resistência; o suor (solução condutora de cloreto de sódio e outros sais) piora ainda mais a situação. Se o contato com a parte sob tensão ocorre onde a pele esteja cortada ou machucada, a resistência cai para valores muito baixos. Ao contrário, se na região de contato a pele estiver endurecida (calosidades), o aumento de espessura contribui, a favor da segurança, para aumentar a resistência.
Tipo de contato	A resistência do corpo depende do trajeto da corrente, que, por sua vez, é determinado pelas partes entre as quais a tensão é aplicada (mão-mão, mão-pés etc.).
Superfície de contato	A resistência do corpo diminui com o aumento da área de contato com a parte sob tensão.

Tabela 8.5
Resistência Elétrica do Corpo Humano conforme as
Condições de Umidade da Pele e
Respectivas Correntes de Choque para Alguns Valores de Tensão de Contato

Tensão de Contato [V]	Condições de Umidade da Pele							
	BB1		BB2		BB3		BB4	
	R [Ω]	I [mA]	R [Ω]	I [mA]	R [Ω]	I [mA]	R [Ω]	I [mA]
10	6500	1,6	3200	3	1200	8	500	20
25	5000	5	2500	10	1000	25	400	50
50	4000	12,5	2000	25	875	57	300	165
100	2200	45	1500	70	730	140	260	370
250	1000	230	1000	230	650	500	200	1000

Definição dos Códigos BB1 a BB4

BB1: resistência elétrica do corpo elevada; característica de condições secas; típica de circunstâncias nas quais a pele está seca, sem nenhuma umidade, inclusive suor.

BB2: resistência elétrica do corpo normal; característica de condições úmidas; típica de passagem da corrente elétrica de uma mão à outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida (suor) e a superfície de contato sendo significativa (por exemplo, um elemento está seguro dentro da mão).

BB3: resistência elétrica do corpo fraca; característica de condições molhadas, típica de passagem da corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés.

BB4: resistência elétrica do corpo muito fraca, característica de condições imersas, típica de pessoas imersas n'água, por exemplo em banheiras e piscinas.

Exemplificando Como Analisar os Efeitos dos Choques

Um chuveiro elétrico (100V – 4400W), ligado a uma tubulação de plástico, apresenta falha de isolamento.

O que acontece se, ao tomar banho, a pessoa tocar sua massa?

Resposta:

– a umidade da pele é a do código BB3 da tabela 8.5;

– pela tabela 8.5, na tensão de contato de 100V, a corrente de choque é de 140mA para BB3;

– pela figura 8.6: se o contato for interrompido em menos de 75ms, não deverá haver efeitos fisiológicos danosos, pois recairia na zona 2.

Caso contrário, haverá efeitos fisiológicos notáveis, pois recairia na zona 3.

8.3.3 Corrente de Fuga

8.3.2.1 Tensão de Toque — é a tensão entre as mãos e os pés que pode surgir quando as pessoas tocam equipamentos sujeitos a tensão de contato, com a conseqüente circulação de corrente elétrica pelo braço, tronco e pernas que, como já vimos, dependendo da duração e intensidade, poderá provocar lesões ao organismo.

8.3.2.2 Tensão de Passo — a corrente descarregada pelos eletrodos de aterramento elevam, ao seu redor, o potencial do solo. A área requerida para a dissipação deste potencial (com o formato de um círculo concêntrico ao eletrodo e cuja borda corresponde ao potencial nulo da Terra) é bastante grande.

A tensão de passo é a diferença de potencial a que ficam submetidos as pessoas com os pés em contato com o interior deste círculo — entre seus pés (considerados afastados de 1 metro para efeito do cálculo) haverá uma diferença de potencial, que poderá provocar a circulação de corrente elétrica pelas pernas (geralmente inferior à causada pela tensão de toque), mas desagradável e que deve ser evitada.

Assim como nas instalações hidráulicas ocorrem vazamentos, nas instalações elétricas também. Só que nestas os vazamentos são chamados **fugas de corrente**, causados primordialmente por falha no isolamento ou por falhas internas dos equipamentos.

Ainda que, a rigor, não existam isolantes perfeitos, podendo-se dizer que em qualquer circuito há fuga de corrente, alguns fatores a exacerbam, como:

- danos à isolação dos condutores durante a instalação;
- envelhecimento térmico das isolações, em virtude de excesso de temperatura (clima, quantidade demasiada de cabos nos eletrodutos, quadros elétricos mal ventilados, harmônicas, sobrecorrentes);
- forças eletrodinâmicas provocadas por curto-circuito, danificando os cabos;
- sobretensões de manobra e/ou de descargas atmosféricas;
- equipamentos elétricos de má qualidade, fabricados fora das normas de isolação das partes vivas.

Devido a isolação imperfeita, a “corrente que vaza”, ou melhor, a **corrente de fuga**, flui para a terra ou para elementos estranhos à instalação através de um caminho diferente do previsto, podendo, além do aumento no consumo

de energia, causar choque elétrico, aquecimento excessivo, destruição da isolação e, em consequência destes dois últimos fatores, dar início a incêndios.

Entretanto, em condições normais de operação, as correntes de fuga são extremamente baixas, da ordem de poucos miliampères, não chegando a causar danos, como mostra a tabela 8.6.

Aparelho	Correntes de Fuga Admitidas [mA]	
	220 V	110 V
Elerodoméstico fixo a motor	< 3,5	< 2,6
Elerodoméstico portátil a motor	< 0,5	< 0,4
Elerodoméstico com aquecimento (ferro de passar roupa, torradeira etc.)	< 3	< 2,3
Equipamento para tratamento de pele	< 0,5	< 0,4
Ferramenta portátil comum	< 0,5	< 0,4
Ferramenta portátil classe II	< 0,1	< 0,08
Luminária	< 0,1	< 0,08
Chuveiro, torneira (com resistência blindada e isolação classe II)	< 3	—

Na figura 8.8, se não houvesse fuga, a corrente I_1 seria igual à I_2 . Porém, como elas sempre existem, esta igualdade não acontece na prática.

No circuito da figura, em que a fuga (natural do equipamento ou devida a falha no isolamento) se dá para a terra, pois a carcaça está aterrada (poderia também ocorrer por contato direto ou indireto), o balanço da corrente de alimentação é dado por:

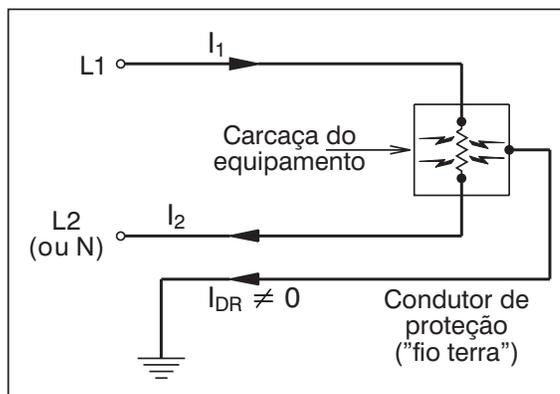


Figura 8.8:
a corrente diferencial-residual.

$$I_{DR} = I_1 + (-I_2) = I_1 - I_2$$

Nesta expressão, I_{DR} é a **corrente diferencial-residual** do circuito e, como se conclui, representa a soma algébrica, em um dado ponto, dos valores instantâneos das correntes que percorrem todos os condutores vivos do circuito.

8.3.4

Dispositivos de Proteção à Corrente Diferencial-Residual

Os dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual, abreviadamente dispositivos **DR**, são o meio mais eficaz de proteção das pessoas contra choques elétricos, sendo obrigatórios em quase todos os países do mundo (inclusive no Brasil, como preconiza a NBR 5410).

Como será visto com mais detalhe no item 9.3.1.5, os DR's são o único meio “ativo” de proteção contra contatos diretos — toque em partes energizadas por falha na isolação, destruição ou remoção de partes isolantes — e, na grande maioria dos casos, o meio mais adequado para proteção contra contatos indiretos — toque em carcaças de aparelhos que estejam energizadas por falha de isolação.

Pela expressão da corrente diferencial-residual I_{DR} , que vimos no item anterior, a menos que existam correntes de fuga ou de falta no circuito, teoricamente ela é nula.

Na prática, como já comentamos, todos os circuitos apresentam corrente de fuga, ainda que limitada a valores mínimos, devido à inexistência de isolação perfeita.

O que o dispositivo DR faz é “supervisionar” a corrente diferencial-residual do circuito, seccionando a alimentação sempre que o valor de I_{DR} ultrapassar um valor pré-estabelecido — valor denominado **corrente residual-diferencial nominal de atuação**, $I_{\Delta N}$.

Na figura 8.9, em que estão esquematizadas as partes principais desses dispositivos, observe que, exceto pelo condutor de proteção (PE), todos os demais (fases e neutro) devem ser ligados ao DR.

Comercialmente, os DR's podem ser fornecidos acoplados, elétrica e mecanicamente, a disjuntores termomagnéticos, constituindo, portanto, um único dispositivo de proteção,

chamado **disjuntor diferencial-residual**, **DDR**, disponibilizando, em um mesmo módulo, a proteção dos condutores contra sobrecargas e curto-circuitos, na parte termomagnética, e a proteção das pessoas contra choques elétricos, na parte diferencial-residual.

No mercado nacional, os DDR's são encontrados nos tipos bi e tetrapolares, veja a figura 8.10. A tabela 8.7 apresenta os dados técnicos de um DDR (que, aliás, será utilizado em nossa residência).

A especificação correta desses dispositivos, além dos dados pertinentes ao disjuntor termomagnético ao qual está acoplado,

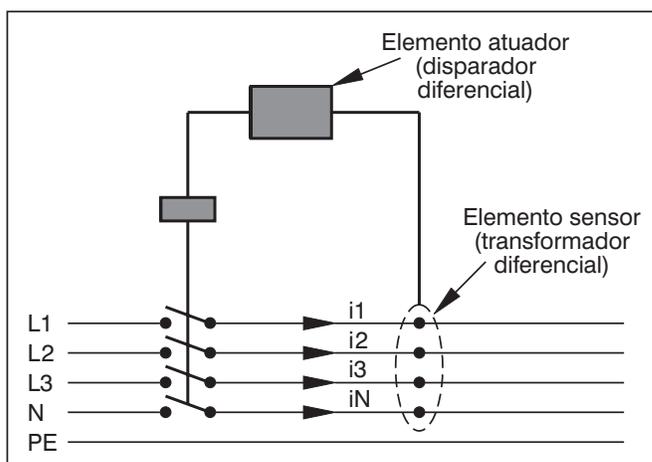


Figura 8.9:
partes principais dos dispositivos DR.

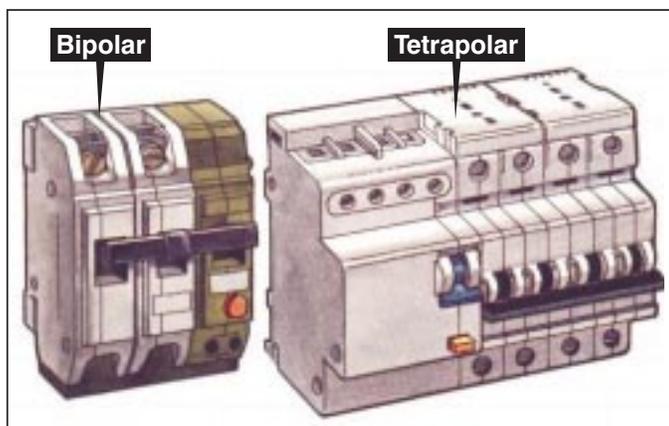


Figura 8.10:
disjuntores diferencial-residual (bi e tetrapolares).

vistos no item 8.2.1, requer a indicação da sensibilidade, que é definida como o maior valor nominal da corrente diferencial-residual ($I_{\Delta N}$) de atuação. Quanto a isto, existem dois tipos de DR no mercado:

- alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$): protegem as pessoas contra choques elétricos por contato direto ou indireto e as instalações contra incêndios de origem elétrica;
- baixa sensibilidade ($I_{\Delta N} > 300 \text{ mA}$): protegem as instalações contra fugas excessivas de corrente e contra incêndios de origem elétrica.

Evidentemente, a instalação de DR's, seja para a proteção de um circuito ou para a proteção geral de uma instalação, pressupõe que as correntes de fuga sejam inferiores à sensibilidade do dispositivo.

Logo, proteger pessoas contra os choques de chuveiros elétricos com carcaça metálica e resistência de aquecimento não blindada (nua) é tarefa impossível, pois o patamar da correntes de fuga seria superior ao limiar de atuação dos DR's de alta sensibilidade — a propósito, esta configuração de aquecedores é uma ameaça à segurança das pessoas!

Muitos imaginam que os DR's limitam a corrente do choque elétrico a valores inferiores a $I_{\Delta N}$.

Não é verdade.

Os DR's limitam apenas o tempo que a corrente circula nas pessoas. Sua ação é a de interromper o circuito tão mais rapidamente quanto maior for a corrente diferencial-resi-

Tabela 8.7
Dados Técnicos Típicos de um Disjuntor Termomagnético Diferencial-Residual

Norma de Referência	NBR 5361		
	2		4
Número de Polos	2		4
Tensão Nominal [V]	127/220	220/380	220/380
Número de Condutores	Fase-Neutro ou Fase-Fase	Fase-Fase	3 Fases-Neutro ou 2 Fases-Neutro
Frequência [Hz]	50/60		
Corrente Nominal I_N [A]	10 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 63 – 80 – 100		
Atuação Térmica	Fixa		
Faixa de Atuação Magnética	5 a 10 I_N		
Corrente Diferencial-Residual $I_{\Delta N}$ de Atuação [mA]	30		
Tempo de Atuação Diferencial [s]	< 0,03		

dual; sendo o tempo máximo de atuação fixado em múltiplos dos valores dessa corrente, como mostra a tabela 8.8.

Valor de I_{DR}	Tempo [s]
$I_{DR} = I_{\Delta N}$	0,5
$I_{DR} = 2 I_{\Delta N}$	0,2
$I_{DR} = 5 I_{\Delta N}$	0,04
$I_{DR} = 10 I_{\Delta N}$	0,03

Anteriormente, na figura 8.6, foram definidas quatro zonas de efeitos para o choque elétrico.

A figura 8.11 é uma repetição da mesma, à qual foi sobreposta a curva de atuação de um DR de alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$), para ser analisado outro aspecto que precisa ficar claro a respeito do uso desses dispositivos.

Nesta figura, observe que o dispositivo atua apenas para valores da corrente de fuga I_{DR} a partir de 15mA, que é o limiar do final da zona 2, na qual, como indicado na figura 8.6, os efeitos fisiológicos geralmente não são danosos.

Esta característica, qual seja, de atuarem apenas para correntes de intensidade igual ou acima de 50% de sua sensibilidade, tem que ser considerada com muito cuidado ao especificá-los.

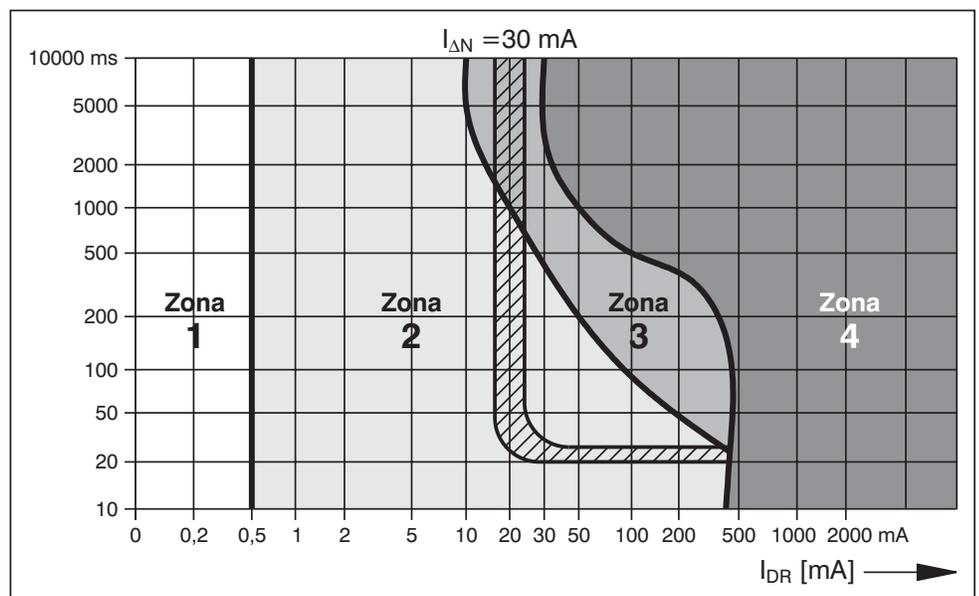


Figura 8.11:
curva de atuação de um típico DR de alta sensibilidade.

Os DR's como “Vigilantes” da Qualidade da Instalação

Um aspecto bastante interessante da atuação dos DR's é a informação que fornecem a respeito da qualidade da instalação.

Quando escolhidos adequadamente, as correntes de fuga capazes de fazê-los interromper os circuitos, indicam a presença de má qualidade de componentes e/ou de serviço de execução.

Infelizmente, a maioria não entende a informação e, ao invés de identificar o problema que está fazendo o DR desarmar com frequência, substituem-no por um disjuntor termomagnético alegando: “o tal de DR não funciona”!

De nada adianta usar um DR em circuitos cujas correntes de fuga (estimadas para regime de funcionamento normal) sejam superiores a este valor característico, pois ele atuará sem que haja nenhuma anormalidade.

O contrário é que deve ser feito, isto é, o DR deve ser especificado de tal maneira que: $I_{DR} \leq 0,50 \times I_{\Delta N}$.

8.3.4.1 Funções Adicionais dos DR's — o emprego desses dispositivos é incompatível com instalações mal executadas ou em mal estado de conservação, pois a corrente diferencial-residual funciona como um elemento de controle do nível de isolamento, seja da instalação como um todo ou de um setor apenas.

Em vista disso, os DR's, principalmente os de alta sensibilidade, também desempenham a função de “vigilantes” da boa qualidade da instalação (veja quadro ao lado).

Adicionalmente, ao limitarem as correntes de fuga a valores aceitáveis, os DR's evitam o desperdício, contribuindo para a conservação da energia elétrica.

Deste último aspecto, decorre outra de suas funções adicionais: a proteção contra incêndios.

Com efeito, correntes de falta fase-massa elevadas (da ordem de algumas centenas de miliampères) podem provocar aquecimentos indesejáveis em seu percurso que, muitas vezes, devido a circunstâncias locais, são imprevisíveis — como é o caso de ambientes com presença de materiais combustíveis, em que o risco de incêndio é crítico, razão pela qual a NBR 5410 recomenda que seus circuitos terminais disponham de DR's com corrente diferencial-residual máxima de 500mA (o que representa proteção eficaz contra risco de incêndios de origem elétrica).

8.3.4.2 Causas de Disparo dos DR's — da experiência internacional com os DR's, já de vários anos na Europa, Estados Unidos e em países da América do Sul, onde existem dezenas de milhares desses dispositivos instalados, podem ser apontadas as principais causas de disparo desses dispositivos.

- uso de equipamentos com elevado nível de corrente de fuga (caso, por exemplo, dos chuveiros elétricos metálicos com resistência nua);
- faltas em aparelhos eletrodomésticos e de iluminação;
- introdução de agulhas, cliques e correlatos nas tomadas de corrente;

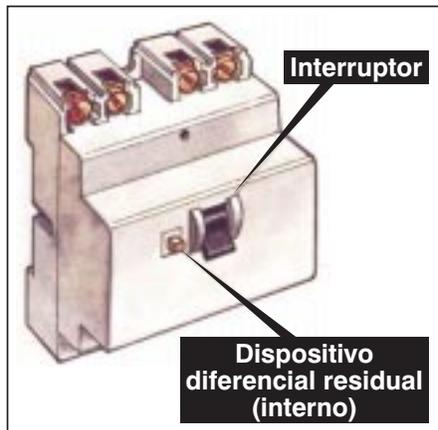


Figura 8.12:
interruptor diferencial-residual típico.

- umidade em condutos metálicos (geralmente ocasionada por inundações, lavagem de pisos ou condensações);
- danos à isolação dos condutores durante a instalação.

8.3.4.3 Interruptor Diferencial-Residual (IDR) — encontra-se no comércio somente o dispositivo diferencial-residual, com as mesmas características de proteção contra choques elétricos que acabamos de ver, trazendo acoplado apenas um interruptor, como mostra a figura 8.12).

Seu emprego é direcionado às instalações elétricas que tenham sido projetadas originalmente sem este tipo de proteção, onde o IDR é facilmente combinado, em série, aos disjuntores termomagnéticos existentes.

8.3.4.4 A Instalação dos DR's — algumas recomendações devem ser seguidas para a correta instalação desses dispositivos. São elas:

- os DR's funcionam apenas em circuitos a corrente alternada;
- pela NBR 5410, é obrigatório o uso de DR's de alta sensibilidade nos circuitos terminais que atendam banheiros, cozinhas, copas-cozinha, lavanderias, áreas de serviço e áreas externas;
- em nenhum caso, o condutor neutro pode ser interligado à terra depois (a jusante) dos DR's;
- os DR's podem ser instalados na proteção geral da instalação e/ou nas proteções individuais de circuitos terminais;
- os DDR's têm que ser dimensionados atendendo simultaneamente as prescrições de proteção contra sobrecorrentes e as prescrições de proteção contra choques elétricos;
- quando utilizado apenas os IDR's, a proteção contra sobrecorrentes tem que ser assegurada por dispositivo específico, atendendo às prescrições da NBR 5410, e o IDR terá que suportar as solicitações térmicas e mecânicas provocadas por correntes de falta depois (a jusante) de sua posição no circuito;
- ao serem instalados DR's na proteção geral e dos circuitos terminais, a seletividade de atuação tem que ser bem coordenada. Para isto, obedecidos os limites fixados na norma, o DR de menor sensibilidade (menor $I_{\Delta N}$) deve

8.4 Aterramento

- ser instalado no circuito terminal e, conseqüentemente, o de maior sensibilidade no circuito de distribuição;
- dependendo dos níveis das correntes de fuga do sistema para a instalação, a escolha da sensibilidade dos DR's tem que ser cuidadosa, pois, principalmente quando instalados na proteção geral, poderão seccionar intempestivamente a alimentação de toda a instalação.

A massa do globo terrestre é tão grande que seu potencial, não importando a quantidade de cargas elétricas que receba, praticamente não varia.

À Terra é atribuído o potencial zero, tornando-a referência para as medidas desta grandeza, veja a figura 8.13.

Qualquer objeto condutor em contato com ela é levado a um potencial próximo de zero, como a pessoa e a estrutura metálica da figura.

Aterramento é a ligação intencional de um condutor à terra — quando feita sem a interposição de qualquer impedância ou resistência, diz-se **aterramento direto**. Caso contrário, diz-se **aterramento indireto**.

Se uma das fases de qualquer sistema não aterrado entrar em contato com a terra, nada acontece: nenhuma proteção desliga o circuito, nenhum equipamento deixa de funcionar.

Os sistemas não aterrados foram muito populares na primeira metade do século XX. Felizmente deixaram de sê-lo, pois, se, por qualquer falta, a carcaça metálica dos equipamentos ficasse energizada, adquirindo, portanto, um potencial superior ao da terra, qualquer pessoa em contato com o solo que neles tocasse sofreria as conseqüências de um choque elétrico.

Existem dois tipos de aterramento:

- **funcional**: em que liga-se à terra um dos condutores do sistema (geralmente o neutro), para garantir o funcionamento correto e confiável da instalação;
- **proteção**: em que liga-se à terra as massas e os elementos condutores estranhos à instalação, com o único objetivo de proteção contra contatos indiretos.

Do exposto, fica claro que a terra é considerada condutora e a corrente elétrica, que para ela flui através dos aterramentos, difunde-se e retorna à fonte de energia dos sistemas (geradores ou transformadores).

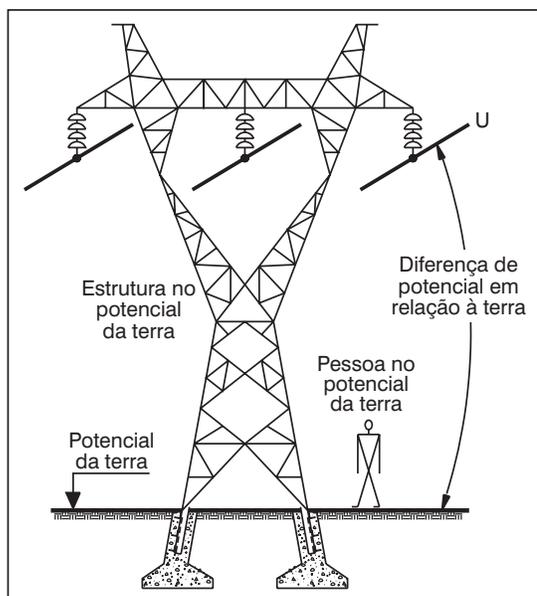


Figura 8.13: a terra como referência para a medida de potencial elétrico.

8.4.1

Funções Básicas dos Sistemas de Aterramento

Solos com resistividade na faixa de 50 a 100 [$\Omega.m$] são considerados “bons condutores”. Apenas para efeito de comparação, a resistividade do cobre é da ordem de 17×10^{-7} [$\Omega.m$].



Em síntese, o aterramento procura obter, tanto quanto possível, a condição de diferença nula de potencial (também referida como **equipotencialidade**) entre os condutores de proteção dos equipamentos, as carcaças destes, os condutos metálicos e todas as demais partes condutoras da instalação, incluindo os elementos metálicos estruturais das edificações.

Note bem: a equipotencialidade significa apenas que todos os elementos condutores da instalação estão submetidos ao mesmo potencial, ainda que diferente de zero.

Desta maneira, os condutores de aterramento, de preferência instalados próximos aos condutores vivos dos circuitos, não são percorridos por correntes, exceto se houver alguma falta, quando, então, a equipotencialidade é perdida e o sistema passará a apresentar diferença de potencial.

Uma das funções dos sistemas de aterramento é enquadrar, dentro de limites previsíveis, a tensão em relação à terra para:

- limitar o esforço de tensão na isolação dos condutores, diminuir as interferências eletromagnéticas e reduzir os perigos de choque elétrico;
- controlar as tensões desenvolvidas no solo (tensão de toque e de passo), na ocorrência de curto-circuito fase-terra e de descarga atmosférica local.

Outra função importante é **minimizar** os efeitos dos choques. Em todo aparelho elétrico há elétrons com tendência a “fugir do interior dos condutores” para algum local de potencial mais baixo. Assim, quando aparelhos de carcaça metálica apresentam falta direta ou indireta, as pessoas em contato com o solo (ou qualquer outro elemento de baixo potencial), que os tocarem, ficam sujeitas a servir de condutor para esses “elétrons fugitivos” e levar um choque elétrico — veja a parte direita da figura 8.14 e aproveite para recordar o item 8.3.2: “Tensão de Contato”.

Aterrando a carcaça metálica (veja a parte esquerda da figura 8.14), como a resistência do sistema de aterramento é incomparavelmente menor que a do corpo humano, a esmagadora maioria dos “elétrons fugitivos” passará a circular por ele, desviando-se das pessoas.

Portanto, apenas aterrar as massas dos equipamentos não é medida suficiente para proteger as pessoas contra os choques elétricos.

Isto, como já dissemos, somente irá minimizar os efeitos, pois ainda haverá circulação de corrente pelo corpo.

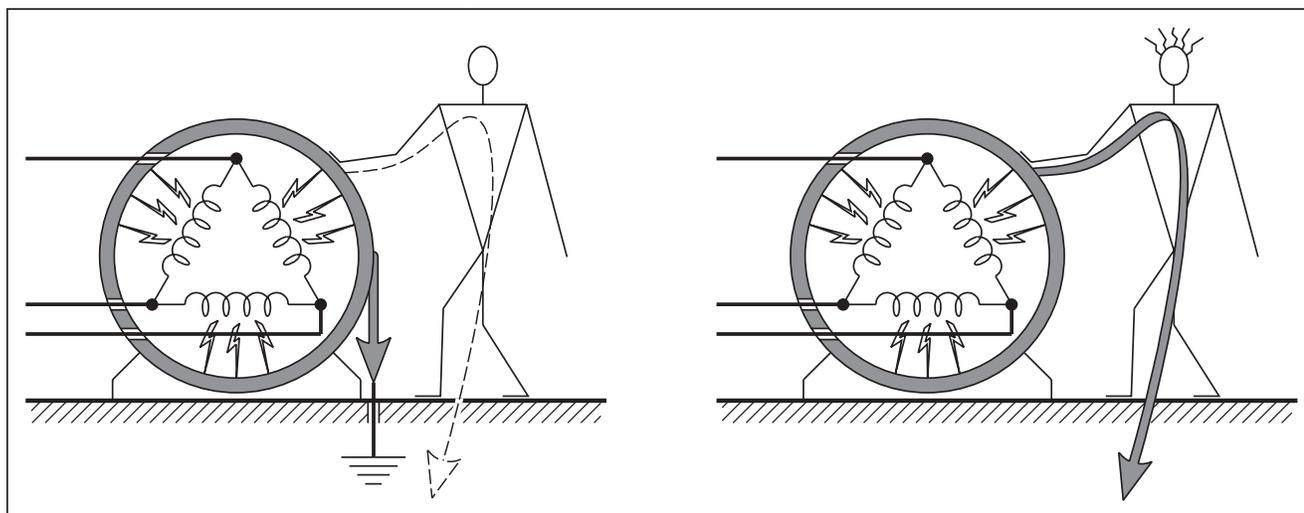


Figura 8.14: o uso do aterramento para minimizar os efeitos do choque elétrico.

A real proteção só é conseguida com o emprego simultâneo de DR's nas fases e neutro (quando este existir) do circuito, veja a figura 8.15.

Não se esqueça que esses dispositivos funcionam apenas em sistemas aterrados, que, por permitirem a circulação da corrente de falta, ocasionam o disparo dos dispositivos de proteção, desligando automaticamente o circuito.

Além de controlar a tensão em relação à terra, minimizar e, quando usados em conjunto com os DR's, proteger contra os choques, o aterramento é usado com outras inúmeras funções de proteção nas instalações elétricas.

Entretanto, como esquematiza a figura 8.16, para qualquer conjunto de funções diferentes que uma instalação

Como representado na figura ao lado, os DR's não impedem a circulação de corrente nas pessoas. Eles apenas limitam o tempo de circulação a valores seguros!

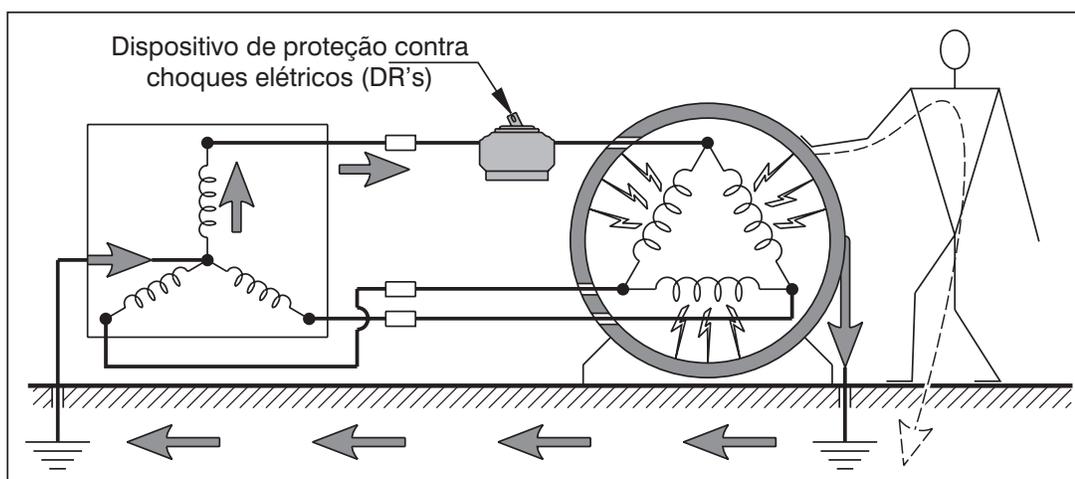


Figura 8.15: o uso simultâneo de DR's com o aterramento — a mais eficaz proteção contra os choques elétricos.

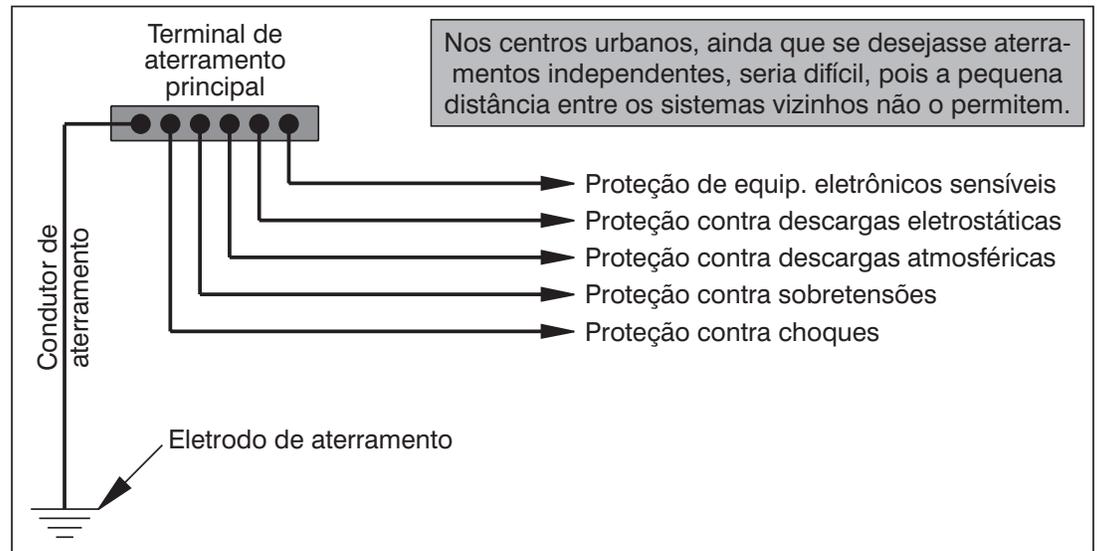
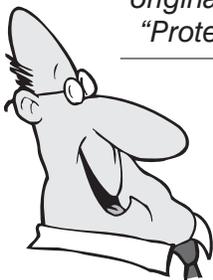


Figura 8.16: basta um aterramento para diferentes funções.

8.4.2 Esquemas de Aterramento

Como você está notando, este curso trata apenas da proteção contra choques. (como são poucas as vezes que me permitem manifestar, vou aproveitar esta para lhe confidenciar que a sigla "PE", utilizada na designação dos condutores de proteção, origina-se do inglês: "Protection Earth").



possa exigir, o aterramento deve ser único, pois, repetindo: em síntese, procura-se obter, tanto quanto possível, a condição de **equipotencialidade**. Se para cada função houvesse um aterramento independente, por várias razões, seria muito difícil obter a equipotencialidade.

A NBR 5410 prescreve que os sistemas de distribuição devem possuir um dos seguintes esquemas de aterramento: **TT**, **IT** ou **TN**, cujas letras indicam:

1ª letra: situação da alimentação em relação à terra. Seu código é:

T = um ponto diretamente aterrado;

I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou, então, aterramento de um ponto através de uma impedância;

2ª letra: situação das massas da instalação em relação à terra. Seu código é:

T = massas diretamente aterradas, independentemente do eventual aterramento de um ponto da alimentação;

N = massas ligadas diretamente ao ponto aterrado da alimentação (em CA, normalmente o neutro);

Suplementarmente, para indicar a disposição dos condutores neutro e de proteção, usa-se as letras:

S = funções de neutro (N) e de proteção (PE) asseguradas por condutores distintos;

C = funções de neutro (N) e de proteção (PE) combinadas em um único condutor (PEN).

A nomenclatura listada na tabela 8.9 se aplica às grandezas relativas aos sistemas de aterramento (algumas já vistas).

8.4.2.1 Esquema TT — o neutro da fonte é ligado diretamente à terra, ficando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo fonte, veja a figura 8.17.

O percurso de correntes fase-massa inclui a terra, o que limita bastante seus valores em virtude da resistência do solo, tornando-as insuficientes para acionar os dispositivos de proteção (disjuntores e fusíveis), mas capazes de colocar em risco as pessoas. Por esta razão, tais correntes devem ser detectadas por dispositivos mais sensíveis (DDR's e IDR's).

Tabela 8.9
Nomenclatura das Grandezas Relativas aos Sistemas de Aterramento

I_a	= corrente que provoca a atuação do dispositivo de proteção no tempo máximo indicado;
I_F	= corrente de falta direta fase-massa;
$I_{\Delta N}$	= corrente diferencial-residual nominal de atuação;
R	= resistência entre a pessoa e a terra (resistência do piso e, se for o caso, do calçado);
R_A	= resistência de aterramento das massas;
R_B	= resistência de aterramento da alimentação;
R_E	= resistência do secundário do transformador;
R_L	= resistência total do(s) condutor(es) fase desde o transformador até a massa sob falta;
R'_L	= resistência do(s) condutor(es) fase desde o transformador até o ponto de entrega;
R''_L	= resistência do(s) condutor(es) fase no trecho a jusante do (após o) ponto de entrega;
R_N	= resistência de aterramento do neutro;
R_{PE}	= resistência do(s) condutor(es) de proteção;
R_{PEN}	= resistência do condutor neutro (na realidade: PEN) desde o terminal de aterramento principal (TAP) até o ponto de derivação;
R'_{PEN}	= resistência do condutor neutro (na realidade: PEN) desde o ponto de derivação da rede até o secundário do transformador;
U	= tensão entre fases;
U_0	= tensão fase-neutro;
U_B	= tensão de contato;
U_F	= tensão de falta;
U_L	= tensão de contato limite;
Z_H	= impedância do corpo humano;
Z_S	= impedância do percurso da corrente de falta.

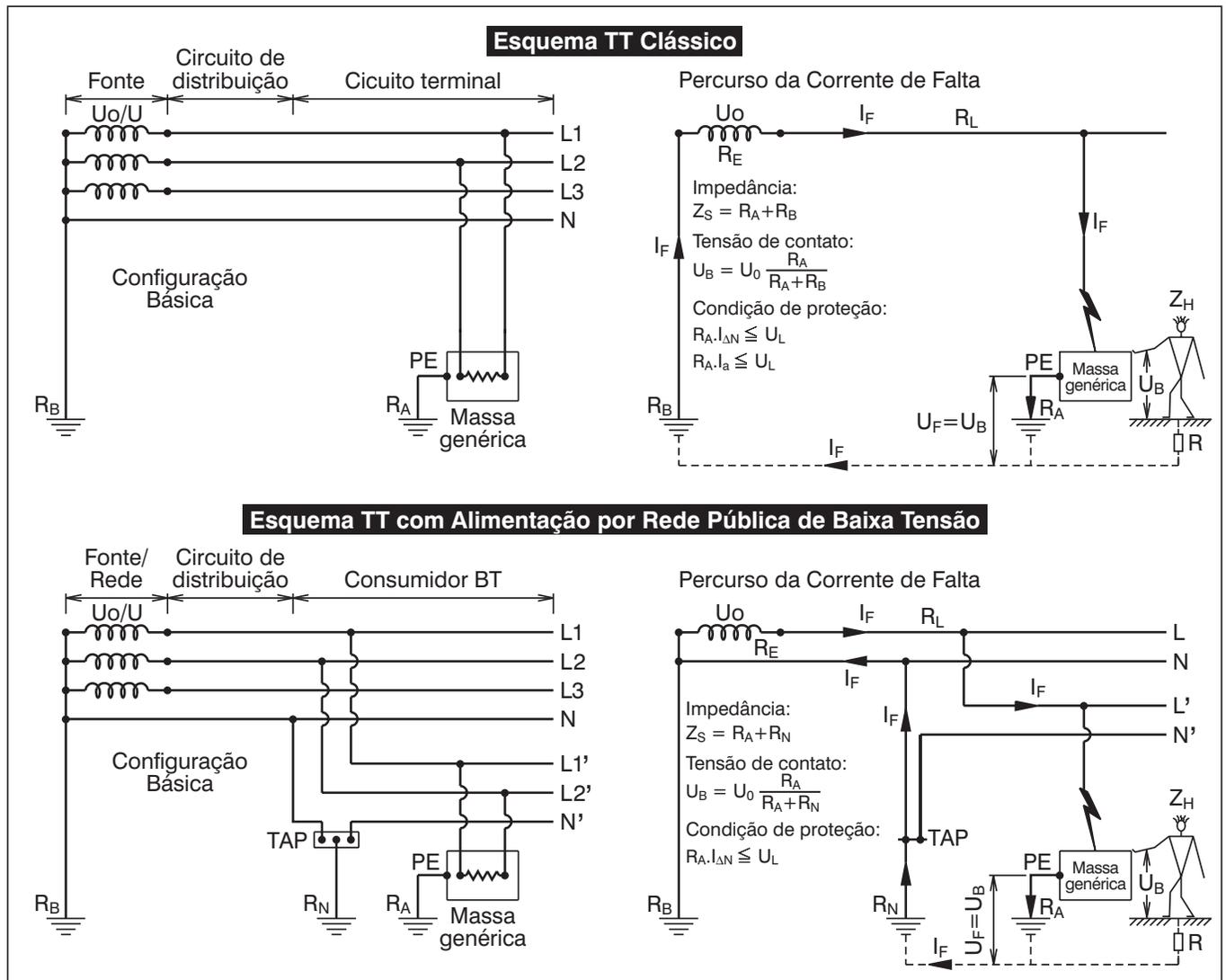


Figura 8.17: esquema TT — configuração básica e percurso da corrente de falta.

8.4.2.2 Esquema IT — difere do esquema TT pela inserção de uma impedância (resistência ou indutância) de valor elevado no aterramento da fonte, veja a figura 8.18.

Com isto, limita-se a corrente de falta a um valor tal que impeça que uma primeira falta desligue o sistema. Essa corrente geralmente não é perigosa, mas como a instalação estará operando em condição de falta, devem ser utilizados dispositivos que monitorem a isolação dos condutores, para evitar a excessiva degradação dos componentes da instalação.

Pela sua característica de impedir que uma primeira falta desligue o sistema, o esquema IT não deve ser aplicado em instalações residenciais.

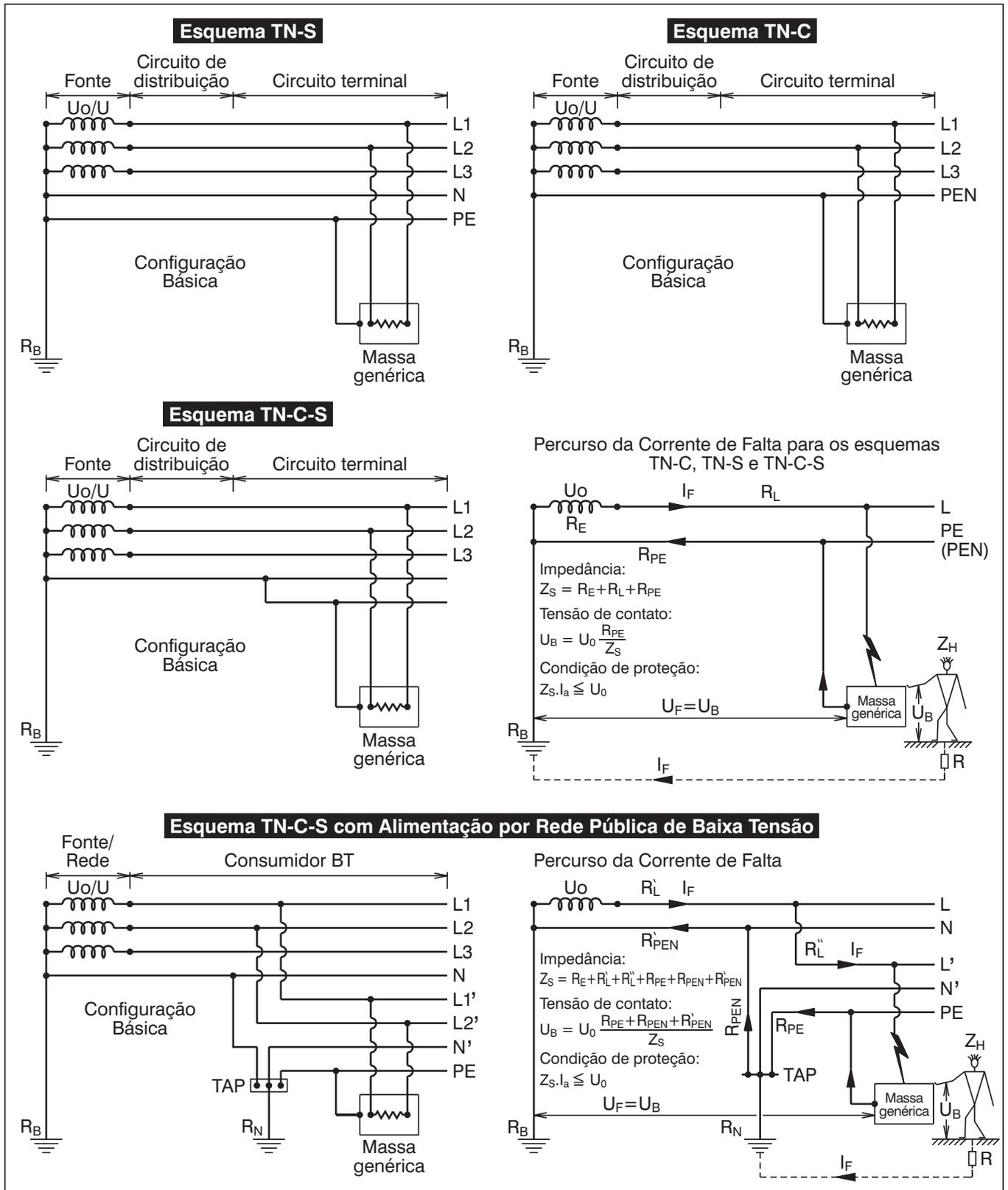


Figura 8.19: variantes do esquema TN — configuração básica e percurso da corrente de falta.

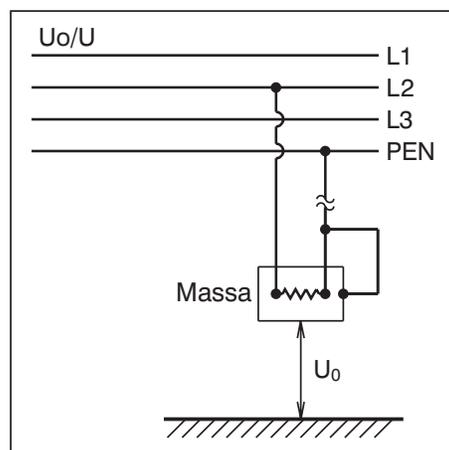


Figura 8.20: o rompimento do condutor PEN coloca a massa num potencial igual à tensão fase-neutro.

Acrescente-se ainda que no esquema TN-C não se admite, por razões óbvias, o uso de dispositivos DR.

Para o esquema TN-S não existem as restrições indicadas para o TN-C, isto é, ele pode ser usado em instalações que não sejam fixas, com condutores de qualquer tipo e seção nominal, além de admitir o uso de dispositivos DR, quer como proteção contra contatos indiretos, quer como proteção complementar contra contatos diretos. Deve-se lembrar, no entanto, que no TN-S não há economia de condutores, posto que o neutro e o condutor de proteção são separados.

No Brasil, em instalações alimentadas diretamente pela rede pública de baixa tensão, o esquema TN é o mais utilizado, principalmente o TN-C-S. A propósito, **o TN-C-S é o esquema utilizado nas instalações elétricas residenciais.**

Neste caso, o esquema TN-C vai até o padrão de entrada, onde o neutro é aterrado por razões funcionais, e segue para o interior da unidade consumidora como TN-S, com o neutro separado do condutor de proteção — se houver algum acidente que danifique o padrão de entrada, rompendo o condutor neutro antes da entrada consumidora, o esquema TN-C-S se transforma em TT; motivo suficiente para se concluir que, mesmo em esquemas TN, é conveniente usar dispositivos DR's para detectar e eliminar pequenas correntes.

8.4.2.4 Escolha do Esquema de Aterramento — qualquer um dos esquemas apresentados oferece o mesmo nível de proteção às pessoas, seja o TT, o IT ou alguma variante do TN. A natureza do funcionamento da instalação e a obediência às prescrições das normas, principalmente da NBR 5410, é que determina o ideal para cada caso.

Quanto ao aspecto da natureza das instalações, resumindo as características dos esquemas, tem-se:

- nas instalações elétricas residenciais, o esquema utilizado é o TN-C-S;
- nas instalações em que os equipamentos apresentam correntes de fuga consideráveis, o esquema TT não deve ser usado, pela possibilidade de disparos frequentes e intempestivos dos DR's;
- quando a alimentação da unidade consumidora é feita pela rede pública de baixa tensão, caso em que o neutro tem que ser aterrado na origem da instalação, o esquema IT não pode ser usado;

- nas instalações em que a continuidade do serviço é fundamental (hospitais, centrais de segurança e análogos), sempre que possível, deve-se optar pelo esquema IT, para os quais a interrupção só ocorre na segunda falta;
- nos locais com riscos de incêndio e/ou explosão, o esquema TN não é recomendado, devido ao elevado valor das correntes de falta;

e, adicionalmente:

■ nos esquemas TT:

- os dispositivos DR são os únicos permitidos para proteger contra contatos indiretos;
- o tempo de seccionamento deve ser, no máximo, de 5 segundos;

■ nos esquemas TN:

- os dispositivos DR não podem ser usados na variante TN-C;
- a variante TN-C só pode ser adotada em instalações fixas com seção nominal dos condutores a partir de 10mm^2 , em cobre, ou de 16mm^2 , em alumínio, e que não utilizem cabos flexíveis
- nas variantes TN-S, TN-C e TN-C-S, para circuitos de distribuição e para circuitos terminais que só alimentem equipamentos fixos, o tempo de seccionamento deve ser, no máximo, de 5 segundos (para a situação 1 da figura 9.5). Em todos os demais casos, no máximo igual ao obtido da curva tempo-tensão em função de U_B .

■ nos esquemas TT, TN-S e TN-C-S: por meio de DR's de alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30\text{mA}$), os seguintes circuitos devem ser protegidos complementarmente contra contatos diretos:

- a) os que sirvam a locais com banheira e/ou chuveiro;
- b) os que alimentam tomadas de corrente em áreas externas;
- c) os que alimentam tomadas de corrente em áreas internas, mas que possam vir a alimentar equipamentos situados no exterior;
- d) os que alimentam tomadas de corrente em cozinhas, copas-cozinha, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, a todo local interno molhado em uso normal ou, então, sujeito a lavação;
- e) aparelhos de iluminação instalados em áreas externas.

A NBR 5410 admite que sejam excluídos da letra (a), os circuitos que alimentem aparelhos de iluminação posicio-

8.4.3 Componentes dos Sistemas de Aterramento

nados a uma altura igual ou superior a 2,50m; e, da letra (d), as tomadas de corrente claramente destinadas a alimentar refrigeradores e congeladores, desde que não fiquem diretamente acessíveis.

Usando a figura 8.21 como referência, na qual está representado o esquema TN-C-S, os componentes de um sistema de aterramento são:

8.4.3.1 Eletrodo de Aterramento — termo que engloba todos os condutores enterrados no solo e eletricamente ligados à terra. Tipos mais comuns:

eletrodos naturais: chumbadores de ancoragem das estruturas metálicas aos blocos de concreto das fundações e ferragens de armação das estruturas de concreto. Em ambos os casos, o eletrodo está embutido em concreto (um meio condutor com resistividade muito melhor que a do solo) e este, por sua vez, está em contato com a terra. Ainda em ambos os casos, deve-se assegurar:

- a interligação entre as ferragens de armação dos blocos de fundação (formando um anel), seja através da própria

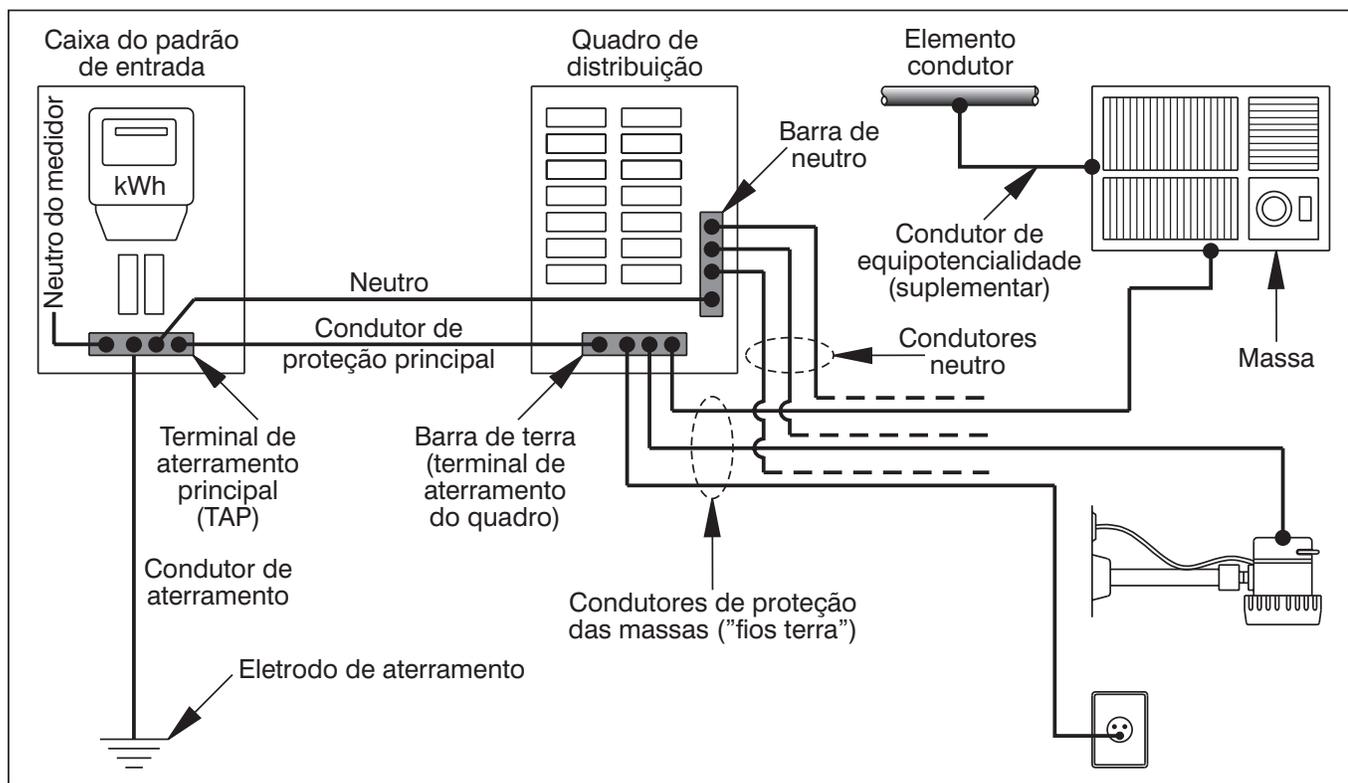


Figura 8.21: esquema TN-C-S de aterramento.

ferragem das cintas, que ligam estruturalmente os blocos entre si, ou por meio de cabos de cobre;

- a continuidade entre todas as partes metálicas;
- a ligação equipotencial entre eventuais partes metálicas desconectadas da estrutura principal.

eletrodos fabricados: de construção padronizada em diferentes formas, a tabela 8.10 indica seus tipos.

Entre outras observações que a NBR 5410 faz a respeito da tabela 8.10, as que interessam mais de perto ao nosso curso são as duas seguintes:

1) as canalizações metálicas de fornecimento de água e outros serviços não devem ser utilizadas como eletrodos de aterramento (item 6.4.2.2.5 da NBR 5410) — esta exigência não exclui a ligação equipotencial de que trata a seção 5.1 da NBR 5410;

2) os eletrodos embutidos nas fundações das edificações devem ser preferencialmente constituídos de um anel no fundo da escavação, executado durante a construção. As armações de concreto armado devem ser interligadas ao anel, na medida do possível, assegurando equipotencialidade ao conjunto (item 6.4.2.2.7 da NBR 5410).

Tabela 8.10 Características dos Eletrodos de Aterramento Fabricados		
Tipo	Dimensões Mínimas	Observações
Chapa de cobre	0,20m ² de área e 2mm de espessura	Enterramento na posição vertical, ficando o centro da chapa, no mínimo, a 1m de profundidade
Chapa de aço zincado	0,20m ² de área e 3mm de espessura	
Tubo de aço zincado	2,40m de comprimento e 25mm de diâmetro nominal	Enterramento total na posição vertical
Perfil de aço zincado	Cantoneira de 20 × 20 × 3mm com 2,40m de comprimento	
Haste de aço zincado	2,00 ou 2,40m de comprimento e 15mm de diâmetro	
Haste de aço revestida de cobre		
Haste de cobre		
Fita de cobre	25mm ² de seção, 2mm de espessura e 10m de comprimento	Enterramento com a largura na posição vertical, no mínimo, a 0,60m de profundidade
Fita de aço galvanizado	100mm ² de seção, 3mm de espessura e 10m de comprimento	
Cabo de cobre	95mm ² de seção e 10m de comprimento	Enterramento na posição horizontal, no mínimo, a 0,60m de profundidade
Cabo de aço zincado		

Fonte: tabela 43 da NBR 5410.

8.4.3.2 Condutor de Aterramento — condutor que interliga o eletrodo de aterramento ao terminal de aterramento principal. Para os eletrodos naturais, é a própria estrutura metálica ou as ferragens de armação do concreto que exercem o papel de condutor de aterramento.

8.4.3.3 Terminal de Aterramento Principal (TAP) — terminal (ou barra) que interliga o condutor de aterramento aos condutores de proteção, inclusive os de equipotencialidade e de aterramento funcional, se existirem.

É através do TAP que todos os tipos de proteção (choque, sobretensões, descargas atmosféricas etc.) se juntam em um único ponto de aterramento, garantindo a tão desejada e fundamental equipotencialidade do sistema.

8.4.3.4 Condutor de Proteção Principal — liga o terminal de aterramento principal (TAP) ao terminal de aterramento do quadro de distribuição.

8.4.3.5 Condutores de Equipotencialidade — são de dois tipos, com duas funções diferentes.

Os chamados *principais*, ligam, ao TAP, as tubulações metálicas que não pertencem à instalação elétrica (canalizações de água, gás etc.), bem como os elementos e estruturas metálicas da edificação. Sua finalidade é a de evitar que, em seguida a uma falta de origem externa, surja alguma diferença de potencial entre as partes condutoras da instalação.

Os chamados *suplementares*, interligam massas e elementos condutores simultaneamente acessíveis.

8.4.3.6 Condutores de Proteção das Massas (PE) — ligam as massas e os elementos condutores estranhos à instalação entre si ou ao TAP. São os chamados “fios terra”.

8.4.3.7 Condutor PEN — condutor que cumpre simultaneamente a função de condutor de proteção (PE) e de condutor neutro (N).

8.4.3.8 Resistência de Aterramento — é a resistência efetiva obtida pelo sistema de aterramento, em $[\Omega]$, que deve ser medida entre a terra e o TAP e cujas parcelas (e respectivas influências) estão descritas na tabela 8.11.

A NBR 5410 recomenda o valor de 10Ω para esta resistência, o que nem sempre é fácil de ser conseguido, pois,

entre outros fatores (quantidade de eletrodos, diâmetro e comprimento dos eletrodos, em suma, da geometria do aterramento), depende diretamente da resistividade local do solo — muitas vezes impossível de ser reduzida, mesmo através de tratamento químico.

Tabela 8.11
Parcelas que Compõem a Resistência de Aterramento

Resistência do solo que circula o eletrodo	É de maior importância e depende do formato e dimensões dos eletrodos, bem como da resistividade do solo, que varia com a umidade e temperatura.
Resistência de contato entre o eletrodo e o solo	Desprezível se o eletrodo e o solo não apresentam gorduras, óxidos, materiais orgânicos, tinta, vernizes, pedras etc. Pode variar com a idade da instalação, devido à oxidação do solo.
Resistência do eletrodo	Pouca influência, que ainda pode ser reduzida com o aumento da seção do condutor de aterramento.
Resistência do condutor de aterramento	Geralmente varia com a idade da instalação, devido a oxidação das conexões.
Resistência das conexões	

8.4.4 Descrição do Sistema de Aterramento de Nossa Residência

As figuras 8.19 (TN-C-S, com alimentação por rede pública de baixa tensão) e 8.21 representam muito bem o sistema de aterramento de nossa residência, onde utilizamos o esquema TN-C-S.

Para eletrodo, foi totalmente enterrada, próximo ao padrão de entrada, uma cantoneira de 20 × 20 × 3mm, galvanizada e com 2,40m de comprimento.

Da extremidade superior do eletrodo — onde, no caso dos perfis de aço, há um conector zincado, do tipo “prensa-cabo” —, sai o condutor de aterramento, cuja outra “ponta” é conectada ao TAP do padrão de entrada.

Uma observação.

Algumas concessionárias, como a CEMIG que serve a nossa residência, usam o sistema de distribuição com o neutro multi-aterado (chamado **aterramento funcional**), conectando o neutro do ramal de entrada ao TAP de todos os consumidores.

Com este recurso, garantem “potencial zero” para o condutor neutro no ponto inicial da alimentação, o que é muito importante, pois, caso não fosse nulo, mas, digamos, de 5V, a tensão fase-neutro, considerada igual a 127V, ficaria reduzida a $127 - 5 = 122$ V, diminuindo a eficiência dos aparelhos da instalação.

Isto posto, retomando a descrição: do TAP saem o condutor de proteção principal e o condutor neutro, indo, res-

pectivamente, até à barra de terra, que é o terminal de aterramento do quadro de distribuição, e à barra de neutro.

Da barra de terra saem os condutores de proteção das massas, ou seja, os “fios terra”, que são conectados às massas dos equipamentos ou ao terminal terra das tomadas.

Da barra de neutro saem os condutores de mesmo nome para cada um dos circuitos terminais.

Outra observação.

Pela NBR 5410, é obrigatório que todos os circuitos de tomadas possuam condutor de proteção, sirvam eles a TUE's ou a TUG's.

Portanto:

- todas as caixas de passagem devem possuir seu condutor de proteção;**
- sempre especifique tomadas universais (3 pólos).**

... infelizmente não é o que se vê por aí!

Como alguns aparelhos, como os “de som”, são construídos de forma tal que realmente não precisam do condutor de proteção, é prática corrente extrapolar o fato para todos os demais, exceto (e menos mal) para os que servem às cozinhas, copas, áreas de serviço e banheiros.

Muitas vezes o despautério vai mais longe: aparelhos com plugues de três pinos, um dos quais é terminal do fio terra, são ligados por meio de “adaptadores”, fabricados e vendidos com o único propósito de permitir sua ligação às tomadas de dois pólos, isto é, sem o terminal de proteção.

8.5 Recapitulação

(respostas na última página)

- a) Sobrecorrente é qualquer corrente acima do valor nominal pré-fixado para um equipamento ou circuito.
sim não
- b) Curto-circuitos são sobrecorrentes em circuitos sem falta (ou sadios), acarretadas pela alimentação de cargas cujas potências nominais sejam superiores às que-las para as quais o circuito tenha sido dimensionado.
sim não
- c) Sobrecargas são correntes elevadíssimas, principal-mente as ocasionadas por falta direta, que submetem repentinamente os equipamentos e condutores a enor-mes solicitações térmicas e mecânicas.
sim não
- d) A parte condutora de um componente elétrico ou de uma instalação, com diferença de potencial em relação à terra, é chamada de parte viva.
sim não
- e) O choque elétrico pode ocorrer por contato indireto, quando a parte viva é tocada, e direto, quando é tocada uma massa que, por falta ou defeito interno, está viva.
sim não
- f) A intensidade e o tempo de circulação da corrente nas pessoas são determinantes para os efeitos fisiológicos do choque elétrico.
sim não
- g) O perigo do choque elétrico não está em tocar um obje-to sob tensão, mas em tocar objetos sob tensões dife-rentes.
sim não
- h) Os dispositivos de proteção à corrente diferencial-resi-dual (DR's) são o meio mais eficaz para proteger as pessoas contra choques elétricos. Eles atuam limitando o tempo de circulação da corrente.
sim não
- i) Aterrizar as massas dos equipamentos é medida suficien-te para proteger as pessoas contra os choques elétricos.
sim não
- j) A NBR 5410 impõe que todos os circuitos de tomadas (TUE's e TUG's) possuam o condutor de proteção.
sim não

