

Sumário

9.1	Introdução	5
9.2	Dimensionamento da Proteção Contra Sobrecorrentes	5
9.2.1	Dimensionamento da Proteção contra Sobrecargas	6
9.2.2	Dimensionamento da Proteção contra Curto-Circuitos	7
9.2.2.1	Corrente de Curto-Circuito Presumida	8
9.3	Dimensionamento da Proteção Contra Choques Elétricos	9
9.3.1	Proteção contra Contato Diretos	10
9.3.1.1	Isolação das Partes Vivas	10
9.3.1.2	Utilização de Barreiras e/ou Invólucros	10
9.3.1.3	Colocação de Obstáculos	11
9.3.1.4	Colocação Fora de Alcance	11
9.3.1.5	Utilização de DR's	11
9.3.2	Proteção contra Contato Indiretos	12
9.3.2.1	Emprego de Equipamentos Classe II	12
9.3.2.2	Instalação em Locais Não Condutores	12
9.3.2.3	Ligações Equipotenciais Locais Não Aterradas	12
9.3.2.4	Separação Elétrica	13
9.3.2.5	Dispositivos de Seccionamento Automático	13
9.3.2.6	Esquema TN	16
9.3.2.7	Esquema TT	23
9.4	Dispositivos de Proteção para a Nossa Residência	27
9.4.1	Dimensionamento da Proteção para a Nossa Residência	31
9.5	Dimensionamento dos Condutores de Proteção	41
9.6	Recapitulação	45

Página intencionalmente em branco

9.1 Introdução

Como comentamos na introdução da lição 08, o aterramento, juntamente com a escolha e o dimensionamento dos dispositivos de proteção, estão entre as principais fontes de problemas nas instalações elétricas de baixa tensão e dedicamos toda aquela lição para apresentar uma visão panorâmica a respeito do assunto.

Na verdade, nos preparamos para, agora, analisar os aspectos conceituais relativos a estes elementos que, apesar das funções de extrema importância que exercem, vez por outra, são tratados, digamos assim, com pouca consideração. Concomitantemente, faremos a especificação dos mesmos para a nossa residência.

Vamos, também, encerrar o assunto do dimensionamento dos condutores fase, iniciado na lição 07, quando observamos que a seção nominal para atender ao critério de sobrecarga seria determinada ao estudarmos os dispositivos de proteção.

Aproveitaremos, ainda, para dimensionar os condutores de proteção, os últimos componentes de nossa instalação.

9.2 Dimensionamento da Proteção Contra Sobrecorrentes

Em resumo, proteger os circuitos contra as sobrecorrentes consiste em assegurar que os componentes da instalação, bem como sua vizinhança, não sofram danos por superaquecimento — meta, como vimos, atingida com o emprego dos disjuntores termomagnéticos (DTM's, daqui para frente).

A esse respeito, a NBR 5410, em seu item 5.7.4, estabelece que:

“os condutores vivos devem ser protegidos por um ou mais dispositivos de seccionamento automático contra sobrecargas e curto-circuitos”;

e que essas proteções:

“... devem ser devidamente coordenadas, de modo que a energia que o dispositivo de proteção contra curto-circuitos deixa passar, por ocasião de um curto, não seja superior à que pode suportar, sem danos, o dispositivo de proteção contra sobrecargas”.

Como a eficácia dos DTM's reside no seu tempo de atuação, isto é, no intervalo de tempo que necessitam para interromper o circuito, que, por sua vez, é função de suas correntes nominais (ou de ajuste), seu dimensionamento reside, basicamente, em determinar o valor dessas correntes.

9.2.1 Dimensionamento da Proteção contra Sobrecargas

A expressão 9.1 e a 9.2 (que será vista logo a seguir) estabelecem **faixas** de valores que atendem aos critérios propostos. A bem da economia, dentro de tais faixas, o critério de escolha é o valor comercial que se aproxime do limite inferior.



Na proteção contra sobrecargas, como esquematizado na figura 9.1, a corrente nominal dos DTM's tem que cumprir simultaneamente as duas seguintes condições:

9.1

1ª Condição	2ª Condição
$I \leq I_N \leq I'_z$	a $I_2 \leq 1,45 I'_z$
	b $I_2 \leq I'_z$

Validade da 2ª condição:
 (a): quando for possível assumir que a temperatura limite de sobrecarga dos condutores não seja mantida por tempo superior a 100 horas, durante 12 meses consecutivos, ou por 500 horas ao longo da vida útil do condutor;
 (b) em caso contrário.

onde:

I = corrente do circuito, em [A];

I_N = corrente nominal (ou de ajuste) do DTM, em [A];

I'_z = capacidade real de condução de corrente dos condutores prevista para a instalação, em [A], calculada por:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FAC$$

em que:

FCT = fator de correção de temperatura, adimensional fornecido pela tabela 7.5;

FAC = fator de correção de agrupamento de circuitos, adimensional fornecido pela tabela 7.6;

I_2 = corrente que assegura efetivamente a atuação do DTM, em [A]. Na prática, é considerada igual à corrente convencional de atuação desses dispositivos, cujos valores estão mostrados na tabela 9.1.

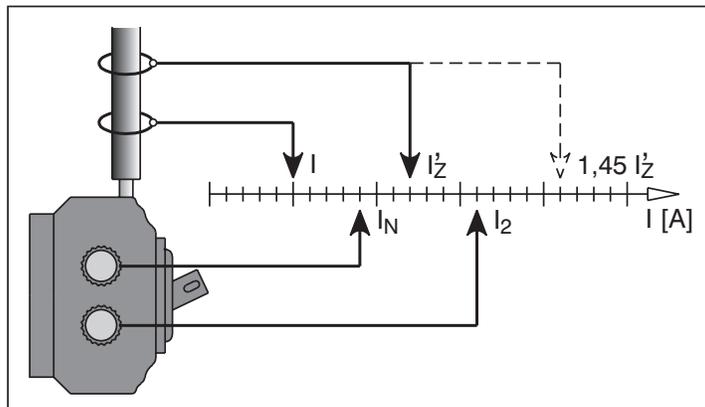


Figura 9.1: as duas condições que a corrente nominal dos DTM's têm que cumprir na proteção contra sobrecargas.

Tabela 9.1
Correntes Convencionais e Tempos de Atuação para DTM's conforme NBR 5361

Corrente [A]			Tempo Convencional (hora)	Temperatura Ambiente de Referência [°C]
Nominal (I_N)	Convencional de Não Atuação	Convencional de Atuação (I_2)		
≤ 50	$1,05 \times I_N$	$1,35 \times I_N$	1	25
> 50	$1,05 \times I_N$	$1,35 \times I_N$	2	

Nota Importante:
Para DTM's fabricados de acordo com a NBR 5361, basta aplicar a 1ª Condição da expressão 9.1, pois a 2ª Condição estará automaticamente atendida.

9.2.2 Dimensionamento da Proteção contra Curto-Circuitos

Na proteção contra curto-circuitos, devem ser determinadas as correntes presumidas de curto em todos os pontos da instalação em que os DTM's forem julgados necessários e estes, como esquematizado na figura 9.2, deverão cumprir simultaneamente as duas seguintes condições:

9.2

1ª Condição	2ª Condição
$I_R \geq I_{CC}$	$T_{dd} \leq t$ sendo: $t = \frac{S^2 \cdot K^2}{I_{CC}^2}$

Estas duas condições impõem que os DTM's:

- tenham capacidade de ruptura superior à corrente presumida de curto nos pontos considerados;
- sejam suficientemente rápidos para que os componentes do circuito não sejam danificados por superaquecimento.

onde:

I_R = corrente de ruptura do DTM, em [A];

I_{CC} = corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação do DTM, em [A], veja o item 9.2.2.1;

T_{dd} = tempo de disparo do DTM, em [s], para o valor de I_{CC} ;

t = tempo limite de atuação do DTM, em [s];

S = seção nominal do condutor, em [mm²];

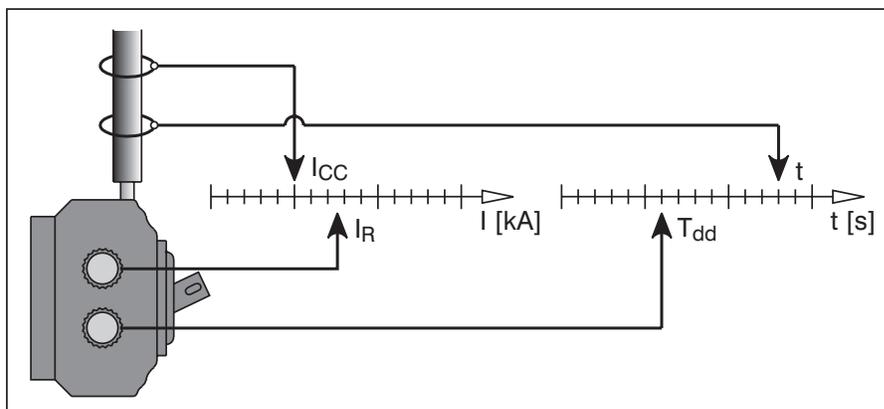


Figura 9.2: as duas condições que os DTM's têm que cumprir na proteção contra curto-circuitos.

K = constante relacionada ao material e à isolação do condutor, valendo:

Material do Condutor	Material da Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Cobre	$K = 115$	$K = 135$
Alumínio	$K = 74$	$K = 87$

Quanto maior o comprimento de um circuito, maior a impedância e, conseqüentemente, menor o nível da corrente de curto-circuito entre sua origem e sua extremidade.



9.2.2.1 Corrente de Curto-Circuito Presumida — nas instalações elétricas residenciais, os pontos em que se instalam DTM's para proteção contra curto-circuitos são os de entrega de energia pela concessionária (no padrão de entrada, antes do medidor) e os de início dos circuitos terminais (no quadro de distribuição).

Quanto ao nível da corrente de curto no ponto de entrega de energia, não há problema, pois pode ser obtido com a própria concessionária.

Porém, o cálculo deste valor no início dos circuitos terminais é bastante complicado, uma vez que, no momento de uma falta para a terra, depende da impedância entre a fonte e o ponto de falta.

Felizmente, para as instalações elétricas residenciais, há um procedimento simplificado, que conduz a resultados bastante aproximados, e que se baseia nas seguintes hipóteses:

- (i): despreza-se o valor da impedância do sistema de energia da concessionária (a montante do transformador), ou seja, considera-se a capacidade do sistema como sendo infinita;
- (ii): despreza-se a impedância do circuito de média tensão para a alimentação do transformador do consumidor (quando houver);
- (iii): desprezam-se as impedâncias internas dos dispositivos de proteção e de comando;
- (iv): considera-se curto-circuito direto, desprezando-se a resistência de contato;
- (v): desprezam-se as contribuições de motores ou geradores em funcionamento na ocasião da falta.

A aplicação deste procedimento simplificado é feita através das expressões 9.3 e 9.4 (dependendo da tensão de alimentação), em função do comprimento do circuito — sua utilização será vista mais adiante, ao dimensionarmos os DTM's para nossa residência.

**Corrente de Curto-Circuito Presumida para:
Condutores de Cobre com $S \leq 50 \text{ mm}^2$
em Circuitos Trifásicos 220/380V**

9.3

$$I_{CC} = \frac{22}{\sqrt{\frac{484}{I_{CC0}^2} + \frac{100 \cdot \cos \Phi_{CC0} \cdot l}{I_{CC0} \cdot S} + \frac{5 \cdot l^2}{S^2}}}$$

Para circuitos monofásicos de 220V, dobrar o valor de l .

**Corrente de Curto-Circuito Presumida para:
Condutores de Cobre com $S \leq 50 \text{ mm}^2$
em Circuitos Trifásicos 127/220V**

9.4

$$I_{CC} = \frac{12,7}{\sqrt{\frac{162}{I_{CC0}^2} + \frac{57 \cdot \cos \Phi_{CC0} \cdot l}{I_{CC0} \cdot S} + \frac{5 \cdot l^2}{S^2}}}$$

Para circuitos monofásicos de 127V, dobrar o valor de l .

sendo, nestas duas expressões:

I_{CC} = corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação do DTM, em [kA];

I_{CC0} = corrente de curto-circuito no ponto de entrega de energia, obtido com a concessionária, em [kA];

$\cos \Phi_{CC0}$ = fator de potência, função de I_{CC0} , cujo valor é:

$$1,5 \leq I_{CC0} \leq 3 \dots \dots \dots \cos \Phi_{CC0} = 0,90$$

$$3,1 \leq I_{CC0} \leq 4,5 \dots \dots \dots \cos \Phi_{CC0} = 0,80$$

$$4,6 \leq I_{CC0} \leq 6 \dots \dots \dots \cos \Phi_{CC0} = 0,70$$

$$6,1 \leq I_{CC0} \leq 10 \dots \dots \dots \cos \Phi_{CC0} = 0,50$$

$$10,1 \leq I_{CC0} \leq 20 \dots \dots \dots \cos \Phi_{CC0} = 0,30$$

$$I_{CC0} > 20 \dots \dots \dots \cos \Phi_{CC0} = 0,25$$

l = comprimento do circuito, em [m];

S = seção nominal do condutor, em [mm²].

9.3 Dimensionamento da Proteção Contra Choques Elétricos

Como foi visto no item 8.3, as condições de perigo para as pessoas em relação às instalações elétricas, são duas: por contatos diretos e por contatos indiretos. Para ambas, a NBR 5410 prescreve duas classes de medidas de proteção: **ativas** e **passivas**.

Através das ativas, impõe o seccionamento automático da alimentação, para impedir que tensões de contato se mantenham por um tempo que possa resultar em risco de

9.3.1 Proteção contra Contato Diretos

efeito fisiológico perigoso para as pessoas e animais domésticos.

Através das passivas, impõe a limitação da intensidade da corrente que possa atravessar o corpo humano, por meio de um eficiente aterramento das massas, e a proteção contra contatos com partes energizadas, por meio da isolação das partes vivas, de colocação de barreiras e obstáculos e de distanciamento.

Em essência, as medidas passivas consistem em disposições preventivas baseadas em aspectos construtivos e/ou em condições de alimentação dos circuitos envolvidos.

A proteção contra contatos diretos é garantida pela qualidade dos componentes e da instalação, bem como por determinadas disposições físicas dos componentes.

As prescrições da NBR 5410 a este respeito estão resumidas na tabela 9.2, cujas medidas de proteção, ali indicadas, passamos a analisar.

9.3.1.1 Isolação das Partes Vivas — é a própria isolação dos condutores, passível de ser removida apenas com sua destruição.

9.3.1.2 Utilização de Barreiras e/ou Invólucros — para a norma, barreiras são anteparos que impedem o acesso às partes vivas a partir das direções habituais, enquanto invólucros são elementos que o impedem em qualquer direção. A supressão ou abertura parcial das barreiras e a remoção de partes dos invólucros só é possível:

- com utilização de ferramentas ou;
- após a desenergização das partes vivas que estejam protegendo, devendo ser previsto intertravamento que impe-

Tabela 9.2
Medidas de Proteção Prescritas pela NBR 5410 contra Choques Elétricos por Contato Direto

Item da NBR 5410	Natureza da Proteção	Medidas Passivas	Medidas Ativas
5.1.2.1 e 5.1.2.2	Completa	– Isolação das partes vivas; – Utilização de barreiras e/ou invólucros.	—
5.1.2.3 e 5.1.2.4	Parcial	– Colocação de obstáculos; – Colocação fora de alcance.	—
5.1.2.5	Complementar	—	Utilização de dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual (DR's).

ça o restabelecimento antes que as barreiras e/ou os invólucros sejam recompostos ou;

- se interposta uma segunda barreira e/ou invólucro.

9.3.1.3 Colocação de Obstáculos — para a norma, obstáculos são elementos que impedem o acesso casual às partes vivas, mas não impedem acessos deliberados.

Ainda que, na hipótese de acesso deliberado, não haja necessidade do uso de ferramentas para removê-los, a NBR 5410 exige que os obstáculos sejam fixados de forma a não serem removidos acidentalmente.

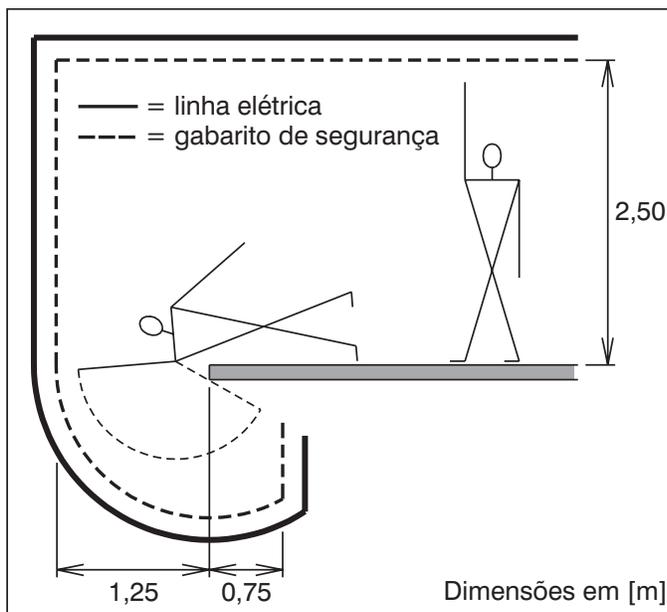


Figura 9.3: gabarito para proteção contra choques elétricos através da colocação das partes vivas fora de alcance.

9.3.1.4 Colocação Fora de Alcance — a NBR 5410 estabelece o gabarito da figura 9.3, delimitando a zona de alcance normal para impedir o contato fortuito entre partes sob potenciais diferentes, que não devem ser simultaneamente acessíveis.

9.3.1.5 Utilização de DR's — Nos locais residenciais, comerciais e assemelhados, é muito comum dar-se pouca importância à proteção contra contatos diretos, medida óbvia e indispensável, julgando que os componentes da instalação, inclusive os equipamentos de utilização, são fornecidos com proteção satisfatória.

No entanto, a maior parte dos acidentes de origem elétrica nesses locais, são devidos a contatos diretos, resultante da falta de manutenção, negligência e imprudência.

São comuns os acidentes por contato com condutores “descascados” de cabos multipolares flexíveis que alimentam aparelhos portáteis, sem falar de pequenos objetos metálicos introduzidos pelas crianças nas tomadas de corrente.

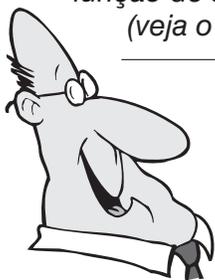
Como se vê na tabela 9.2, a maioria das medidas de proteção contra contatos diretos são passivas, de eficácia comprometida com o passar do tempo (desgaste advindo do uso, envelhecimento dos materiais e tantos outros fatores).

Em vista disso, complementarmente, a NBR 5410 estabelece a exigência da medida ativa através dos DR's.

Os pontos críticos para os quais a norma exige os DR's foram relacionados no item 8.3.4.4. Deve-se dizer, entretanto, que tais dispositivos de proteção deveriam abranger to-

9.3.2 Proteção contra Contato Indiretos

Na proteção contra contatos indiretos, as medidas ativas são as principais. Nelas, o condutor de proteção desempenha uma função de suma importância (veja o item 9.3.2.5).



das as tomadas de corrente, inclusive as de uso geral, sem se limitar à relação do item 8.3.4.4. Porém, pela norma, para estes outros, basta a proteção através dos DTM's.

As prescrições da NBR 5410 quanto à proteção contra os contatos indiretos estão resumidas na tabela 9.3, cujas medidas, ali indicadas, passamos a analisar.

9.3.2.1 Emprego de Equipamentos Classe II — trata-se da utilização de equipamentos com isolamento dupla ou isolamento reforçada em todas as partes vivas, sem previsão de aterramento através de condutores de proteção, pois a isolamento já constitui a própria segurança. Aparelhos de som e ferramentas portáteis são exemplos típicos.

9.3.2.2 Instalação em Locais Não Condutores — são considerados isolantes os cômodos com paredes e pisos que apresentarem, em qualquer ponto, a seguinte resistência mínima:

- para instalações com tensão nominal até 500V . . . 50kΩ
- para as demais instalações 100kΩ

9.3.2.3 Ligações Equipotenciais Locais Não Aterradas — para haver circulação de corrente de choque nas pessoas é preciso que : (1) elas toquem simultaneamente dois pontos de um circuito; (2) entre os dois pontos exista uma diferença de potencial.

O princípio da proteção por ligações equipotenciais locais não aterradas é que, se todas as partes metálicas que possam ser tocadas pelas pessoas forem ligadas eletricamente,

Tabela 9.3
Medidas de Proteção Prescritas pela NBR 5410 contra Choques Elétricos por Contato Indireto

Item da NBR 5410	Natureza da Proteção	Medidas Passivas	Medidas Ativas
5.1.3.1	Utilizando sistema de aterramento	—	– Dispositivos de seccionamento automático; – Esquema TN; – Esquema TT.
5.1.3.2 5.1.3.3 5.1.3.4 5.1.3.5	Não utilizando sistema de aterramento	– Uso de equipamentos Classe II ou isolamento equivalente; – Instalação em locais não condutores; – Ligações equipotenciais locais não aterradas; – Separação elétrica.	—

a condição (2) deixa de existir (a tensão de contato se reduz praticamente a zero) e não haverá perigo de choque.

Estas ligações equipotenciais — que não devem ser confundidas com as equipotenciais principal e suplementar, vistas no item 8.4.3.5 — são proteções independentes, cuja aplicação prática é limitada a instalações onde seja difícil ou inviável o uso de outras medidas, em particular as de seccionamento automático.

Ressalta-se que este tipo de proteção não é adotado em instalações elétricas residenciais e, segundo a NBR 5410, na sua implementação não poderá haver qualquer ligação com a terra, seja direta ou por intermédio de massas ou de elementos condutores.

9.3.2.4 Separação Elétrica — consiste na alimentação do circuito por meio de **transformadores de segurança**, que não possuem as espiras comuns aos enrolamentos primário e secundário, e com nível de isolamento superior ao da instalação.

A proteção contra choques é garantida pela impossibilidade de circulação para a terra, pois o secundário do transformador está isolado em relação a ela. Para isto, devem ser atendidas as seguintes condições:

- o circuito seja eletricamente separado dos demais;
- a tensão nominal do circuito seja inferior a 500V;
- o comprimento do circuito seja inferior a 500m;
- o produto da tensão nominal do circuito pelo seu comprimento não ultrapasse o valor 100 000;
- as massas do circuito não sejam ligadas intencionalmente às de outros circuitos ou a elementos estranhos;
- quando o circuito alimentar mais de um equipamento, deve ser previsto um condutor de equipotencialidade entre suas massas.

9.3.2.5 Dispositivos de Seccionamento Automático — é a principal medida de proteção contra contatos indiretos prescrita pela NBR 5410, pois destina-se a evitar que a tensão de contato U_B , superior à tensão limite U_L , se mantenha por um tempo que possa resultar em risco de efeito fisiológico danoso para as pessoas, veja a figura 9.4. Fundamentalmente, são duas as condições em que ela se baseia: 1ª) existência de um percurso para a corrente de falta fase-massa I_F , cuja composição depende do tipo de esquema de aterramento adotado (veja os itens 9.3.2.6 e 9.3.2.7);

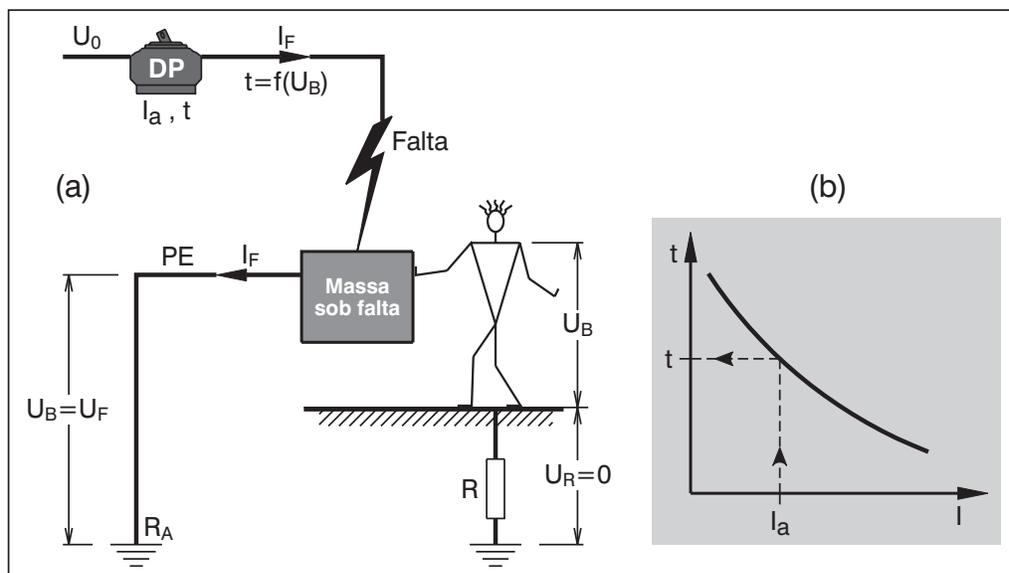


Figura 9.4: (a) esquema da proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação; (b) o dispositivo de proteção (DP) percorrido pela corrente I_a atua no tempo t , determinado a partir de U_B .

2ª) seccionamento da corrente de falta por um dispositivo apropriado, atuando em um tempo t .

A primeira condição implica na existência de ligações de todas as massas da instalação a um “sistema de aterramento de proteção” — isto é: condutores de proteção das massas e principais, condutor de aterramento e condutores de ligações equipotenciais, todos ligados ao terminal de aterramento principal —, constituindo um caminho para a eventual corrente de falta fase-massa. Este caminho, o percurso de falta, dependerá, é claro, do esquema de aterramento adotado.

A segunda condição exige a instalação de dispositivos de proteção, com características definidas de acordo com o sistema de aterramento.

Em qualquer massa energizada por falta, a tensão de contato presumida U_B , admitida igual à tensão de falta U_F , é função da tensão fase-neutro da instalação U_0 e das impedâncias existentes no percurso de falta: quando U_B for igual ou superior a U_L , deverá ser eliminada em um tempo t , no máximo de:

- 5 segundos, quando U_B é igual a U_L ;
- 5 segundos, para circuitos de distribuição e para circuitos terminais que alimentem apenas equipamentos fixos;
- para os demais casos, quando U_B for maior que U_L , no tempo indicado no gráfico da figura 9.5.

Pelo exposto e pela observação feita junto ao gráfico da figura 9.5, conclui-se que, independente da tensão de contato presumida, o tempo de seccionamento do dispositivo de proteção não poderá ser superior a 5 segundos.

Como a corrente de falta fase-massa I_F deverá ser, no mínimo igual à corrente I_a que provoca a atuação do dispositivo de proteção no tempo t e como I_F é dada por:

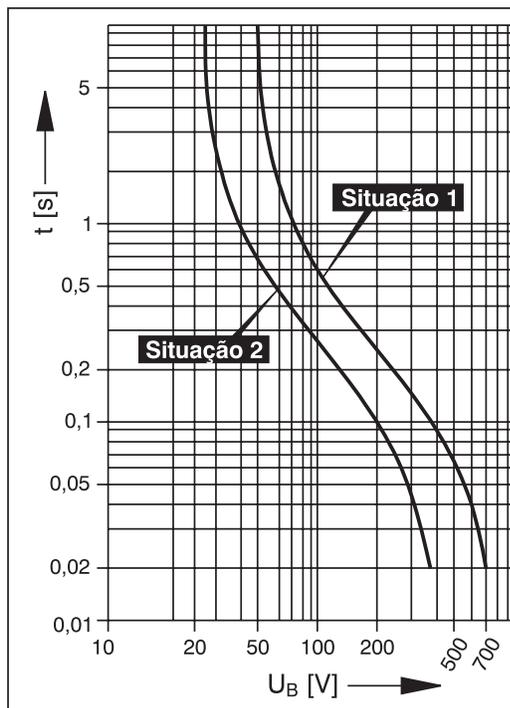
$$I_F = U_0 / Z_s$$

em que Z_s é a impedância total do percurso de falta, então, qualquer que seja o esquema de aterramento, a condição geral de proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação é estabelecida pela expressão 9.5.

**Condição Geral de Proteção
Contra Contatos Indiretos por
Seccionamento Automático da Alimentação**

9.5

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$



As designações Situação 1 e 2 codificam as condições de influência externa para falta fase-massa, significando:

Situação 1

São os ambientes ditos “normais”. Em relação às tabelas 8.3 e 8.5, corresponde às condições (BB2+BC1), (BB2+BC2) e (BB2+BC3).

É a situação mais encontrada nos locais residenciais e comerciais.

Situação 2

Em relação às tabelas 8.3 e 8.5, corresponde às condições (BB2+BC4) e (BB3+qualquer BC).

É encontrada em áreas externas (jardins, feiras etc.), canteiros de obras, estabelecimentos pecuários, campings, trailers, locais ou dependências fora da zona de influência da ligação equipotencial principal da instalação, dependências interiores molhadas em uso normal etc.

Figura 9.5: gráfico para determinação da duração máxima da tensão de contato presumida.

Observação: para as duas situações representadas, a tensão de contato limite U_L , descrita no item 8.3.2, será o valor assintótico da tensão de contato presumida. Para tensões alternadas de 15 a 100 Hz, este valor é de 50V, na situação 1, e de 25V, na situação 2. Para tensões contínuas puras (sem ondulação, isto é, não retificada) estes valores são de 120 e 60V, respectivamente para as situações 1 e 2.

Conclusões da Equação (d)Conclusão 1:

A equação (d) mostra que, ao diminuir a resistência dos condutores de proteção (RPE), a relação U_0/U_B cresce e, com isto, o perigo diminui, já que U_0 é constante.

Conclusão 2:

Ao contrário do que muitos supõem, o simples aterramento das massas, ligando-as aos condutores de proteção, não é suficiente para garantir a segurança.

De fato, na equação (d), mesmo com $R_{PE} = R_L$ (condutores de proteção do mesmo tipo, seção e comprimento que os das respectivas fases), desprezando R_E , obtém-se:

$$\text{para } U_0 = 127V \rightarrow U_B = 63,5V$$

$$\text{para } U_0 = 220V \rightarrow U_B = 110V$$

Estes valores de tensão de contato são perigosos, caso a alimentação do circuito não seja interrompida no tempo adequado.

Pela situação 1 do gráfico da figura 9.5, isto corresponderia a cerca de 1,4s, para 63,5V, e de 0,55s, para 110V.

9.3.2.6 Esquema TN — como foi visto no item 8.4.2.3, este esquema é concebido de forma que a impedância do percurso da corrente de falta fase-massa, em um componente ou equipamento de utilização, tenha valor suficientemente baixo, o que ocasiona elevados valores da corrente de falta I_F , portanto, a proteção contra contatos indiretos podendo ser garantida por DTM's.

No esquema TN, toda corrente de falta direta fase-massa é uma corrente de curto-circuito (fase-neutro).

Para analisar, com aproximação bastante boa, a situação representada na figura 8.19, em que há uma situação de falta num esquema TN, adota-se as seguintes hipóteses simplificadoras:

- 1) desprezam-se os valores de Z_H , R e R_B , por serem muito superiores às impedâncias do condutor de proteção e/ou PEN. Considera-se, portanto, apenas a malha superior (através do condutor de proteção e/ou PEN) como o único percurso de falta I_F , pois seria o caminho de menor impedância;
- 2) considera-se a tensão de contato U_B igual à tensão de falta U_F , por ter sido desprezada a malha inferior (pelo solo);
- 3) desprezam-se as reatâncias dos condutores no percurso I_F , pois, para condutores de pequena seção nominal (abaixo de 35mm²), sua influência é insignificante;

obtendo-se, em consequência, as seguintes equações:

$$Z_S = R_E + R_L + R_{PE} \dots \dots \dots (a)$$

$$U_0 = I_F \cdot Z_S \dots \dots \dots (b)$$

$$U_F = U_B = I_F \cdot R_{PE} \dots \dots \dots (c)$$

de onde, dividindo (b) por (c), vem:

$$\frac{U_0}{U_B} = \frac{Z_S}{R_{PE}} = \frac{R_E + R_L + R_{PE}}{R_{PE}} = \frac{R_E + R_L}{R_{PE}} + 1 \dots \dots \dots (d)$$

A aplicação da condição geral de proteção, dada pela expressão 9.5, aos esquemas TN é bastante simples, pois:

- a tensão fase-neutro U_0 é sempre conhecida;
- a impedância Z_S pode ser calculada pela equação (a);
- a tensão de contato U_B pode ser calculada pela equação (d);

e, portanto:

- a partir das condições do local da instalação, definidas como situações 1 e 2 no gráfico da figura 9.5, o valor de U_B determinará, nesta mesma figura, o tempo t máximo de

- seccionamento (**nota:** para circuitos de distribuição e terminais, em que prevaleçam a situação 1, não há necessidade de consulta ao gráfico, pois o tempo t é de 5 segundos);
- na curva de atuação do dispositivo de proteção escolhido, o valor do tempo t de seccionamento determinará a corrente de atuação I_a , permitindo, finalmente, verificar a expressão 9.5.

Exemplo de Aplicação — seja verificar se o disjuntor do circuito terminal de uma instalação com esquema de aterramento TN-S, como representado na figura 8.19, garante a proteção contra contatos indiretos, considerando os seguintes dados:

Transformador:				
trifásico	75 kVA	220/127V	$R_E=16,04\text{m}\Omega/\text{m}$	$X_E=29,31\text{m}\Omega/\text{m}$
Circuito alimentador:				
$S_1=25\text{mm}^2$	$L_1=50\text{m}$	$R_1=0,880\text{m}\Omega/\text{m}$	$X_1=0,106\text{m}\Omega/\text{m}$	—
Condutor de proteção 1:				
$S_{PE1}=16\text{mm}^2$	$L_{PE1}=50\text{m}$	$R_{PE1}=1,41\text{m}\Omega/\text{m}$	$X_{PE1}=0,112\text{m}\Omega/\text{m}$	—
Circuito terminal:				
$S_2=6\text{mm}^2$	$L_2=30\text{m}$	$R_2=3,71\text{m}\Omega/\text{m}$	$X_2=0,135\text{m}\Omega/\text{m}$	—
Condutor de proteção 2:				
$S_{PE2}=6\text{mm}^2$	$L_{PE2}=30\text{m}$	$R_{PE2}=3,71\text{m}\Omega/\text{m}$	$X_{PE2}=0,135\text{m}\Omega/\text{m}$	—
O disjuntor que protege o circuito é o de 20A, da tabela 8.1				
A condição de influência externa para falta fase-massa é a situação 1 do gráfico da figura 9.5				

- A impedância do percurso de falta, ao ser feita a transformação de miliohm para ohm das resistências que a compõem e levando em conta os comprimentos dos circuitos alimentador e terminal, é

$$R_E = 16,04 \times 10^{-3} = 0,016 \Omega$$

$$R_L = R_1 + R_2 = [(0,880 \times 50) + (3,71 \times 30)] \times 10^{-3} = 0,155 \Omega$$

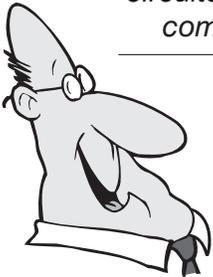
$$R_{PE} = R_{PE1} + R_{PE2} = [(1,41 \times 50) + (3,71 \times 30)] \times 10^{-3} = 0,182 \Omega$$

$$Z_S = 0,016 + 0,155 + 0,182 = 0,353 \Omega$$

- Pela expressão (d) do item 9.3.2.6, a tensão de contato é:

$$U_B = 127 \times \frac{0,182}{0,353} = 65,48 \text{ V}$$

Quando não for possível atender a aplicação da expressão 9.4, deve-se assegurar a proteção por meio de DR's. Isto se dá nos casos em que o valor da impedância Z_S é suficientemente elevado para não permitir a atuação dos DTM's no tempo adequado. Exemplos típicos são os circuitos de grande comprimento.



■ Para determinar o tempo máximo de duração da tensão de contato (igual ao tempo de atuação do disjuntor), entrando com o valor de U_B , que acabamos de calcular, no gráfico da figura 9.5, a curva correspondente à situação 1 fornece:

$$t = 1,4 \text{ segundos}$$

■ Para este tempo, a curva de atuação do disjuntor de 20A, mostrada na tabela 8.1, indica que a corrente máxima de atuação é de 10 vezes a corrente nominal (a pior situação dentro da faixa de atuação do disjuntor). Logo:

$$I_a = 10 \times 20 = 200 \text{ A}$$

■ Finalmente, como:

$$Z_S \cdot I_a = 0,353 \times 200 = 70,6 \text{ V}$$

e

$$U_0 = 127 \text{ V}$$

a expressão 9.5 se verifica, já que:

$$Z_S \cdot I_a < U_0$$

e, portanto, o disjuntor escolhido garante a proteção contra contatos indiretos para os dados enunciados.

Pelo exposto, a condição geral de proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação, dada pela expressão 9.5, requer o cálculo da impedância Z_S da corrente de falta, o que, por sua vez, exige o conhecimento da impedância de todos os elementos que constituem o percurso de falta.

Como na etapa de projeto nem sempre estão disponíveis as informações relativas às resistências da fonte (transformador), na prática usa-se a equação (h), a seguir, em que, diferentemente da equação (d), o termo Z_S não aparece.

$$U_B = U_0 \cdot \frac{R_{PE}}{\frac{1}{c} \cdot (R_L + R_{PE})} = c \cdot U_0 \cdot \frac{R_{PE}}{R_L + R_{PE}} \dots \dots \dots (h)$$

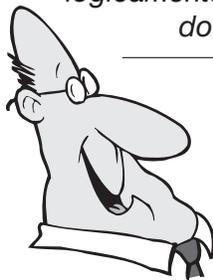
Em (h), chamando de m a relação de R_{PE} para R_L , vem:

$$U_B = c \cdot U_0 \cdot \frac{m}{1+m} \dots \dots \dots (i)$$

Porém, se os condutores forem do mesmo material, m será também igual à relação da seção nominal do condutor fase para o de proteção, isto é:

$$m = \frac{R_{PE}}{R_L} = \frac{S_L}{S_{PE}} \dots \dots \dots (j)$$

Via de regra, a expressão 9.5 é aplicada após o dimensionamento pelos critérios tradicionais (lição 07), ou seja, após terem sido determinadas a seção nominal dos condutores vivos, o tipo e a corrente nominal de atuação do dispositivo de proteção e, logicamente, o comprimento do circuito.



Portanto, de acordo com (i), nas condições indicadas, a tensão de contato pode ser determinada em função apenas da tensão fase-neutro e dos fatores **c** e **m**.

O fator **c** pode variar de 0,6, nos circuitos muito distanciados da fonte, a 1, nos circuitos ligados diretamente à fonte; sendo geralmente tomado igual a 0,8, o que atende a maioria dos casos práticos. Por sua vez, **m** varia de 1 a 3; sendo geralmente igual a 1 para seções nominais até 16mm².

Para esta faixa de valores de **c** e **m**, resulta, da equação (i), que a tensão de contato presumida pode variar entre:

$$0,3 U_0 \leq U_B \leq 0,75 U_0 \quad \text{ou seja:}$$

- para $U_0 = 127V$ $38,1 \leq U_B \leq 95,3V$
- para $U_0 = 220V$ $66 \leq U_B \leq 165V$

Considerando as condições impostas, pela expressão 9.4, pode-se escrever:

$$\frac{1}{c} \cdot (R_L + R_{PE}) \cdot I_a \leq U_0 \quad \rightarrow \quad I_a \leq \frac{c \cdot U_0}{R_L + R_{PE}} \quad \dots \dots \dots (k)$$

Sendo ρ a resistividade do material dos condutores e **L** o comprimento do circuito terminal, de (k) vem:

$$I_a \leq \frac{c \cdot U_0}{\rho \cdot L \cdot \left(\frac{1}{S_L} + \frac{1}{S_{PE}} \right)}$$

na qual, multiplicando numerador e denominador por **S_L** e considerando a definição de **m** dada em (j), obtém-se:

$$L \leq \frac{c \cdot U_0}{\rho \cdot I_a \cdot (1+m)} \cdot S_L \quad \dots \dots \dots (l)$$

e, finalmente, pode-se escrever:

Circuitos Terminais de Instalações TN Critério de Proteção Contra Contatos Indiretos por Seccionamento Automático da Alimentação	9.6
$L_{\max} \leq \frac{c \cdot U_0}{\rho \cdot I_a \cdot (1+m)} \cdot S_L$	
Condições de Validade:	
– o condutor de proteção esteja contido na mesma linha elétrica dos condutores vivos; – exista um “ponto de referência” ao nível da origem do circuito.	

onde:

L_{\max} = comprimento máximo do circuito terminal, em [m];

c = fator que leva em conta o percurso de falta, em geral tomado igual a 0,8;

U_0 = tensão fase-neutro da instalação, em [V];

ρ = resistividade do material dos condutores do circuito terminal, em [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$]. Para o cobre, em geral tomada igual a 0,0225, que corresponde à temperatura de 98°C;

I_a = corrente que garante a atuação do dispositivo de proteção a sobrecorrente em um tempo t (obtido da figura 9.5 ou, conforme o caso, igual a 5 segundos), em [A];

m = relação da seção nominal do condutor fase para o de proteção do circuito, adimensional;

S_L = seção nominal dos condutores fase do circuito terminal, em [mm^2].

A aplicação do critério de proteção de circuitos terminais de instalações TN contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação, dado pela expressão 9.6, bem como a sua interpretação é mais simples ainda que a da expressão 9.5. Veja:

- a tensão fase-neutro U_0 é sempre conhecida;
- o fator c também é conhecido, pois, como vimos, em geral é tomado igual a 0,8;
- para condutores de cobre (caso das instalações elétricas residenciais), a resistividade ρ também é conhecida, pois, como vimos, em geral é tomada igual a 0,0225;
- como, no momento de aplicação do critério, as seções nominais dos condutores fase S_L e de proteção S_{PE} já estão pré-fixadas, basta aplicar a equação (j) para determinar o fator m ;
- com c , U_0 e m , determina-se a tensão de contato U_B pela equação (i);
- a partir das condições do local da instalação, definidas como situações 1 e 2 no gráfico da figura 9.5, o valor de U_B determinará, nesta mesma figura, o tempo t máximo de seccionamento (*nota*: para circuitos de distribuição e terminais, em que prevaleçam a situação 1, não há necessidade de consulta ao gráfico, pois o tempo t é de 5 segundos);
- na curva de atuação do dispositivo de proteção escolhido, o valor do tempo t de seccionamento determinará a corrente de atuação I_a , permitindo aplicar a expressão 9.6;

- se o comprimento máximo L_{max} , resultante de 9.6, for menor ou igual ao comprimento L real do circuito terminal, o dispositivo de proteção escolhido garante a segurança contra contatos indiretos
Caso contrário, não garante; sendo necessário então:
 - a) aumentar a seção nominal dos condutores e proceder a nova verificação ou;
 - b) se o esquema da instalação for o TN-S ou o TN-C-S, instalar um dispositivo DR ou;
 - c) estabelecer ligações equipotenciais.

Exemplo de Aplicação — verificar qual seria o comprimento máximo que o circuito terminal de tomadas de corrente de uma residência com esquema de aterramento TN-S, como representado na figura 8.19, poderia ter para que o disjuntor de 15A, cujos dados técnicos estão na tabela 8.1, o protegesse contra contatos indiretos, sabendo-se que:

- a tensão fase-neutro da instalação é 127V;
- os condutores são de cobre;
- a seção nominal dos condutores fase e do condutor de proteção é de 2,5mm²;
- a condição de influência externa para falta fase-massa corresponde à situação 2 do gráfico da figura 9.5.

- Do enunciado, sabe-se que:

$$U_0 = 127V$$

$$c = 0,8$$

$$\rho = 0,0225 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$$

e, como a seção dos condutores fase e de proteção são iguais a 2,5mm², da expressão (j):

$$m = \frac{2,5}{2,5} = 1$$

- Pela equação (i), a tensão de contato é:

$$U_B = 0,8 \times 127 \times \frac{1}{1+1} = 50,8V$$

- Com este valor de U_B , no gráfico da figura 9.5, a curva correspondente à situação 2 fornece:

$$t = 0,65 \text{ segundos}$$

- Para este tempo, a curva de atuação do disjuntor de 15A, mostrada na tabela 8.1, indica que a corrente máxima de atuação é de 10 vezes a corrente nominal. Logo:

$$I_a = 10 \times 15 = 150 \text{ A}$$

■ Finalmente, pela expressão 9.5:

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times 127}{0,0225 \times 150 \times 2} \times 2,5 = 37,6 \text{ m}$$

ou seja, até no máximo este comprimento de 37,6 metros, o disjuntor escolhido garante a proteção contra contatos indiretos para os dados enunciados.

Em instalações elétricas residenciais, alimentadas por rede pública em baixa tensão, como já comentamos, é aplicado o esquema TN-C-S, veja a figura 8.19.

Segundo as concessionárias e atendendo a exigência da NBR 5410, este tipo de rede, que já é aterrada em vários pontos ao longo de sua extensão, para que o aterramento do neutro atinja um grau mínimo de efetividade, é preciso que este condutor dos ramais de ligação também seja aterrado na origem de cada instalação consumidora.

Em relação à figura 8.19 e usando as mesmas três hipóteses indicadas no início deste item 9.3.2.6, que permitiram desenvolver as equações (a), (b) e (c), tais equações tomam a seguinte forma:

$$Z_S = R_E + R'_L + R''_L + R_{PE} + R_{PEN} + R'_{PEN} \dots \dots \dots (a1)$$

$$U_0 = I_F \cdot Z_S \dots \dots \dots (b1) = (b)$$

$$U_F = U_B = I_F \cdot (R_{PE} + R_{PEN} + R'_{PEN}) \dots \dots \dots (c1)$$

de onde, dividindo (b1) por (c1), a equação equivalente a (d) é:

$$\frac{U_0}{U_B} = \frac{Z_S}{R_{PE} + R_{PEN} + R'_{PEN}} \dots \dots \dots (d)$$

Na equação (a1), os valores das resistências R_E , R'_L e R'_{PEN} devem ser fornecidos pela concessionária e, via de regra, são inacessíveis na fase de projeto, impossibilitando a aplicação da expressão 9.5.

Para solucionar este caso, como método prático, calcula-se a impedância do percurso de falta pela seguinte equação:

$$Z_S = \frac{1}{c} \cdot (\bar{R}_L + \bar{R}_{PE}) \dots \dots \dots (m)$$

onde:

c = fator que leva em conta o percurso de falta, já visto e que, em geral, é tomado igual a 0,8;

\bar{R}_L = resistência do condutor fase do circuito terminal, em $[\Omega]$;
 \bar{R}_{PE} = resistência do respectivo condutor de proteção do circuito terminal, em $[\Omega]$;

Com o emprego da equação (m), a aplicação da condição geral de proteção, dada pela expressão 9.4, aos esquemas TN-C-S recai no caso do primeiro exemplo de aplicação, com um diferencial, é ainda mais simples.

Ressalta-se que, também para o esquema TN-C-S, a expressão 9.5 permanece válida.

9.3.2.7 Esquema TT — como foi visto no item 8.4.2.1, este esquema é concebido de forma que a impedância do percurso da corrente de falta fase-massa, em um componente ou equipamento de utilização, inclua a terra e, em virtude da elevada impedância deste percurso, o valor da corrente de falta fica limitado, porém ainda sendo capaz de provocar o aparecimento de tensões de contato perigosas.

Para analisar, com boa aproximação, a situação mostrada na figura 8.17, em que há uma situação de falta num esquema TT, adota-se as seguintes hipóteses simplificadoras:

- 1) desprezam-se os valores de R_E , R_L e R , por serem muito inferiores às resistências R_A e R_B ;
- 2) considera-se a tensão de contato U_B igual à tensão de falta U_F , por ter sido desprezada a a resistência R ;
- 3) desprezam-se as reatâncias dos condutores no percurso I_F , pois, para condutores de pequena seção nominal (abaixo de 35mm^2), sua influência é insignificante;

obtendo-se, em consequência, as seguintes equações:

$$Z_S = \frac{R_A \cdot R_H}{R_A + R_H} + R_B \dots \dots \dots (n)$$

$$U_0 = I_F \cdot Z_S \dots \dots \dots (o)$$

$$U_F = U_B = I_F \cdot \frac{R_A \cdot R_H}{R_A + R_H} \dots \dots \dots (p)$$

de onde, dividindo (o) por (p), vem:

$$\frac{U_0}{U_B} = \frac{Z_S}{\frac{R_A \cdot R_H}{R_A + R_H}} = \frac{\frac{R_A \cdot R_H}{R_A + R_H} + R_B}{\frac{R_A \cdot R_H}{R_A + R_H}} = 1 + \frac{R_B}{R_A} + \frac{R_B}{R_H} \dots \dots \dots (q)$$

Conclusões da Equação (r)

Conclusão 1:

A equação (r) mostra que, ao diminuir a resistência R_A dos condutores, a relação U_0/U_B cresce e, com isto, o perigo diminui, já que U_0 é constante.

Conclusão 2:

Ao contrário do que muitos supõem, o simples aterramento das massas, ligando-as aos condutores de proteção, não é suficiente para garantir a segurança, ou seja, garantir tensões de contato suficientemente baixas:

Por exemplo, para valores de R_A e R_B iguais, respectivamente, a 5 e 4Ω, a equação (r), fornece

para $U_0 = 127V \rightarrow U_B = 70,6V$

para $U_0 = 220V \rightarrow U_B = 122,2V$

Estes valores de tensão de contato são perigosos, caso a alimentação do circuito não seja interrompida no tempo adequado.

Pela situação 1 do gráfico da figura 9.5, isto corresponderia a cerca de 1s, para 70,6V, e de 0,5s, para 122,2V.

Pela situação 1, para que a tensão de contato fosse inferior à tensão de contato limite, $U_L = 50V$, seria preciso que:

para $U_0 = 127V \rightarrow R_A < 0,65R_B$

para $U_0 = 220V \rightarrow R_A < 0,29R_B$

isto é, para $R_B = 4\Omega$ seria preciso que:

para $U_0 = 127V \rightarrow R_A = 2,6\Omega$

para $U_0 = 220V \rightarrow R_A = 1,16\Omega$

que, por serem valores muito difíceis de serem obtidos na prática, é necessário, além do aterramento das massas, que exista um dispositivo em condições de seccionar automaticamente a alimentação do circuito em tempo adequado, sempre que a tensão de contato atinja valores perigosos.

e, de (q), como a resistência R_B é pequena (geralmente de 1 a 10Ω) em comparação com R_H (geralmente superior a 1 000Ω), pode-se escrever:

$$\frac{U_0}{U_B} = 1 + \frac{R_B}{R_A} \dots \dots \dots (r)$$

Considerando que R_H é bem superior a R_A :

$$R_A + R_H \approx R_H$$

a equação (n) fica:

$$Z_S = \frac{R_A \cdot R_H}{R_A + R_H} + R_B = \frac{R_A \cdot R_H}{R_H} + R_B = R_A + R_B \dots \dots (s)$$

e reescrevendo (r), vem:

$$\frac{U_0}{U_B} = 1 + \frac{R_B}{R_A} = U_B \cdot \frac{R_A + R_B}{R_A} \dots \dots \dots (t)$$

Levando (s) e (t) na expressão 9.4 ela se transforma em:

$$I_a \leq \frac{U_B}{R_A}$$

onde, fazendo $U_B = U_L$, obtém-se:

$$I_a \leq \frac{U_L}{R_A} \dots \dots \dots (u)$$

em que I_a é a corrente que assegura a atuação do dispositivo de proteção. Quando a proteção for realizada por dispositivos a sobrecorrente (DTM's e fusíveis), I_a é a corrente que garante o seccionamento do circuito em 5 segundos.

No esquema TT (como se conclui no quadro ao lado), para que ocorra o seccionamento automático em condições de falta fase-massa, usando-se apenas dispositivo de proteção a sobrecorrente, é necessário que a resistência de aterramento das massas R_A tenha um valor muito pequeno, difícil de ser conseguido na prática e de ser conservado ao longo do tempo.

Em vista disso, a NBR 5410 recomenda o emprego de DR's, caso em que a equação (u) toma a forma:

Circuitos Terminais em Instalações TT Critério de Proteção Contra Contatos Indiretos por Seccionamento Automático da Alimentação	9.7
$R_A \cdot I_{\Delta N} \leq U_L$	



Para $I_{\Delta N}$, os DR's disparam em alguns milissegundos, portanto, em uma fração do tempo estipulado pela NBR 5410, que é de 5 segundos.

em que $I_{\Delta N}$, como já vimos, é a corrente diferencial-residual nominal de atuação do dispositivo.

O valor de $I_{\Delta N}$ é geralmente muito baixo (desde poucos miliamp res até 1 amp re), permitindo que as resistências de aterramento das massas R_A tenha valores elevados (veja a tabela 9.4), pois pela expressão 9.7:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}}$$

Tabela 9.4 Esquema TT — Valores Máximos Típicos da Resistência de Aterramento das Massas		
$I_{\Delta N}$ [A]	$R_A \text{ max } [\Omega]$	
	Situação 1 (a) ($U_L = 50$)	Situação 2 (a) ($U_L = 25$)
0,03	1667	833
0,3	167	83,3
0,5	100	50

(a): veja gráfico da figura 9.5.

Exemplo de Aplicação — analisar a atuação do DR no circuito da figura 9.6, sabendo-se que:

- o DR é de 30mA (veja tabela 8.7 e figura 8.11);
- a resistência de aterramento das massas R_A é de 1670 Ω ;
- a tensão de contato U_B , suposta igual à de falta, é de 250V;
- a condição de influência externa para falta fase-massa é a da situação 2 do gráfico da figura 9.5.

1ª Hipótese) Ninguém encosta na massa sob falta

Neste caso, pela expressão (u) anterior, a corrente que circulará para a terra através do condutor de proteção será:

$$I_F = \frac{250}{1670} = 0,15 \text{ A} = 150 \text{ mA}$$

Pela figura 8.11, para esta corrente, o DR deverá atuar num tempo máximo de:

$$t_a = 0,035 \text{ s (o maior dentro da faixa de atuação)}$$

Porém, pela curva de segurança da figura 9.5, o tempo máximo de seccionamento para a tensão de contato de 250V, na situação 2, é:

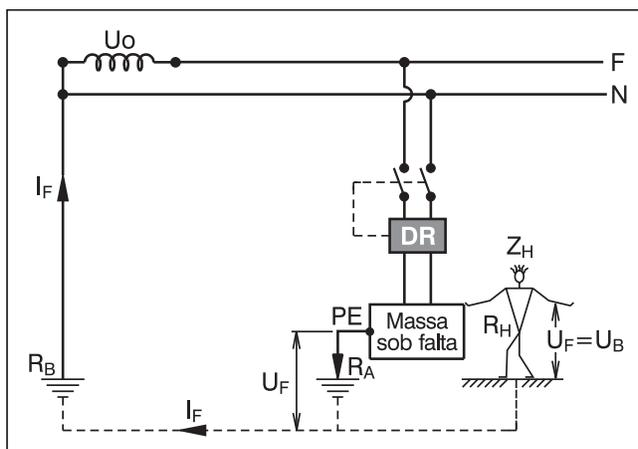


Figura 9. : esquema de um circuito com esquema TT em que há uma situação de falta fase-massa.

$$t_s = 0,07 \text{ s } (> t_a)$$

o que sugere a atuação do DR no tempo certo (lembrando que t_a é um tempo máximo).

2ª Hipótese) Alguém, em contato com o solo, toca a massa sob falta:

Neste caso a pessoa estaria submetida à tensão de 250V e, na situação 2, pela tabela 8.5 – condição BB3, sua resistência corporal seria:

$$R_H = 650 \Omega$$

e, pela expressão abaixo, será percorrida por uma corrente de intensidade igual a:

$$I_H = \frac{U_B}{R_H} = \frac{250}{650} = 0,385 \text{ A} = 385 \text{ mA}$$

A corrente diferencial-residual, admitindo que suas componentes estejam em fase, o que é bastante razoável, será então:

$$I_F = 150 + 385 = 535 \text{ mA}$$

Pela figura 8.11, para esta corrente, o DR deverá atuar num tempo máximo de:

$$I_a = 0,035 \text{ s } (< t_s)$$

garantindo a proteção da pessoa.

O uso do esquema TT em instalações alimentadas por rede de distribuição pública em baixa tensão, pressupõe, em princípio, a existência de três aterramentos: R_B , R_N e R_A — sendo que os dois últimos deverão ser eletricamente independentes, o que nem sempre é possível nos centros urbanos devido, principalmente, as curtas distâncias.

Neste caso, como mostra a figura 8.17, todas as hipóteses adotadas para o TT clássico permanecem válidas. A única diferença é o percurso da corrente de falta, que agora retorna pela resistência de aterramento do neutro R_N , e não mais pela resistência de aterramento da alimentação R_B , conduzindo a expressões análogas às já vistas, ou seja:

$$Z_S = R_A + R_N$$

$$U_0 = I_F \cdot Z_S$$

$$\frac{U_0}{U_B} = 1 + \frac{R_N}{R_A}$$

$$U_L \geq R_A \cdot I_{\Delta N}$$

9. Dispositivos de Proteção para a Nossa Residência

o aplicar-se as recomendações e exigências da NBR 5410, quanto aos dispositivos de proteção às residências, conclui-se que todos os circuitos deverão ser protegidos contra sobrecorrentes (veja o item 8.2.1) e, além disso, tem que ser prevista proteção complementar contra contatos diretos e indiretos, através de DR's de alta sensibilidade, nos locais especificados no item 8.3.4.4.

A norma prevê opção de instalação de DR na proteção geral — seja no padrão de entrada (figura 9.7) ou no quadro de distribuição (figura 9.8) —, caso em que a proteção de todos os circuitos terminais pode ser feita por meio de DTM's.

Esta opção é bem econômica, pois evita a instalação de DR's nos circuitos terminais que os exigiriam. Porém, requer cuidado com os tipos de aparelhos a serem utilizados, uma vez que o DR da proteção geral irá “sentir” a corrente de fuga de toda a instalação. Como já comentamos, aquecedores elétricos (chuveiros, torneiras e aquecedores de passagem) com carcaça metálica e resistência nua, por apresentarem fugas consideráveis, manterão o DR da proteção geral sempre desarmado.

Em vista disso, antes de exercer esta opção, sobretudo em instalações mais antigas, é preciso constatar, por medição, se há correntes de fuga superiores a certo limite. Se as houver, a opção não poderá ser empregada e os DR's só poderão ser usados nos circuitos terminais.

Pelo exposto, considerando a realidade brasileira no que diz respeito à considerável corrente de fuga dos aparelhos elétricos, o mais sensato é utilizar DTM's na proteção geral e DR's em todos os circuitos terminais.

Com isto, desliga-se apenas o circuito com corrente de fuga considerável, e não toda a instalação.

Há ainda a opção do uso de DR's somente nos circuitos terminais especificados no item 8.3.4.4, todos os demais sendo protegidos por DTM's.

Para a nossa residência, como esquematizado na figura 9.9, optamos por utilizar DTM's na proteção geral, DR's nos circuitos terminais especificados no item 8.3.4.4 e, em todos os demais circuitos, faremos a proteção por meio de DTM's, ou seja:

- no padrão (circuito de distribuição) DTM
- no quadro (circuito de distribuição) DTM
- iluminação social e de serviço (circuitos 1 e 2) . . . DTM's
- TUG's (circuitos 3, 4, 5 e 6) DR's
- TUE'S (circuitos 7 e 8) DR's

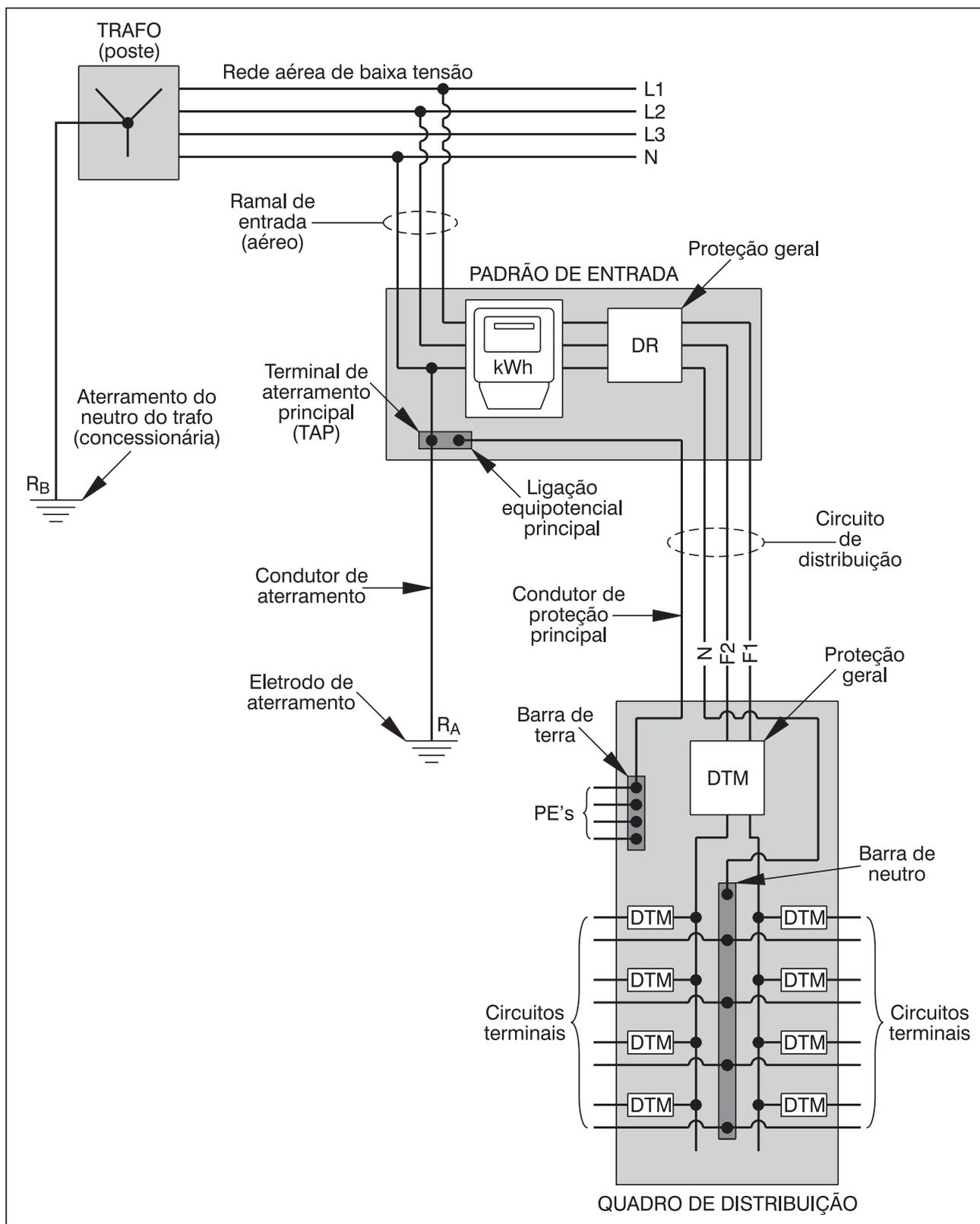


Figura 9. :
uso de DR no padrão de entrada para proteção geral de instalação alimentada por rede p blica.

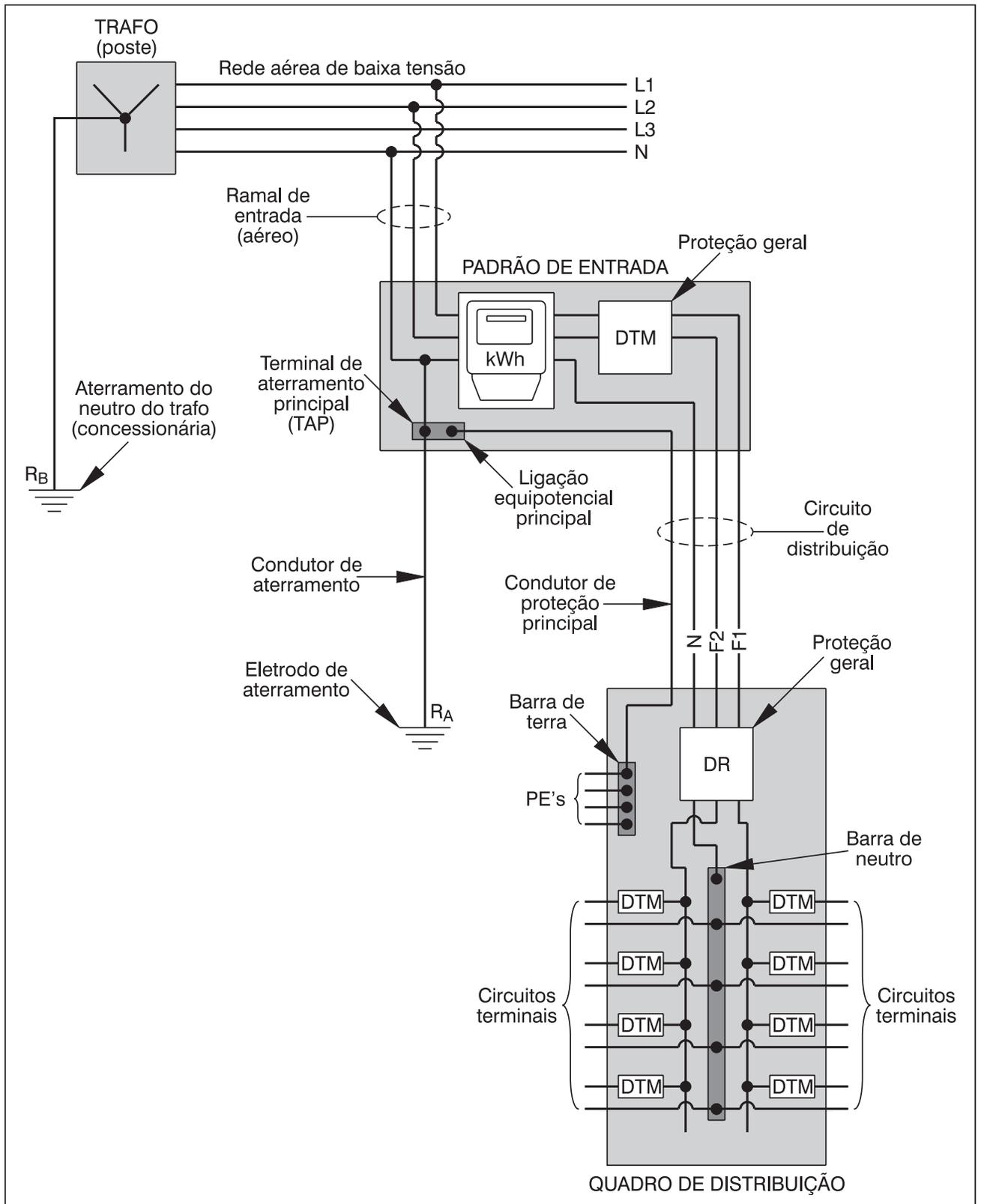


Figura 9. :
uso de DR no quadro de distribuição para proteção geral de instalação alimentada por rede pública.

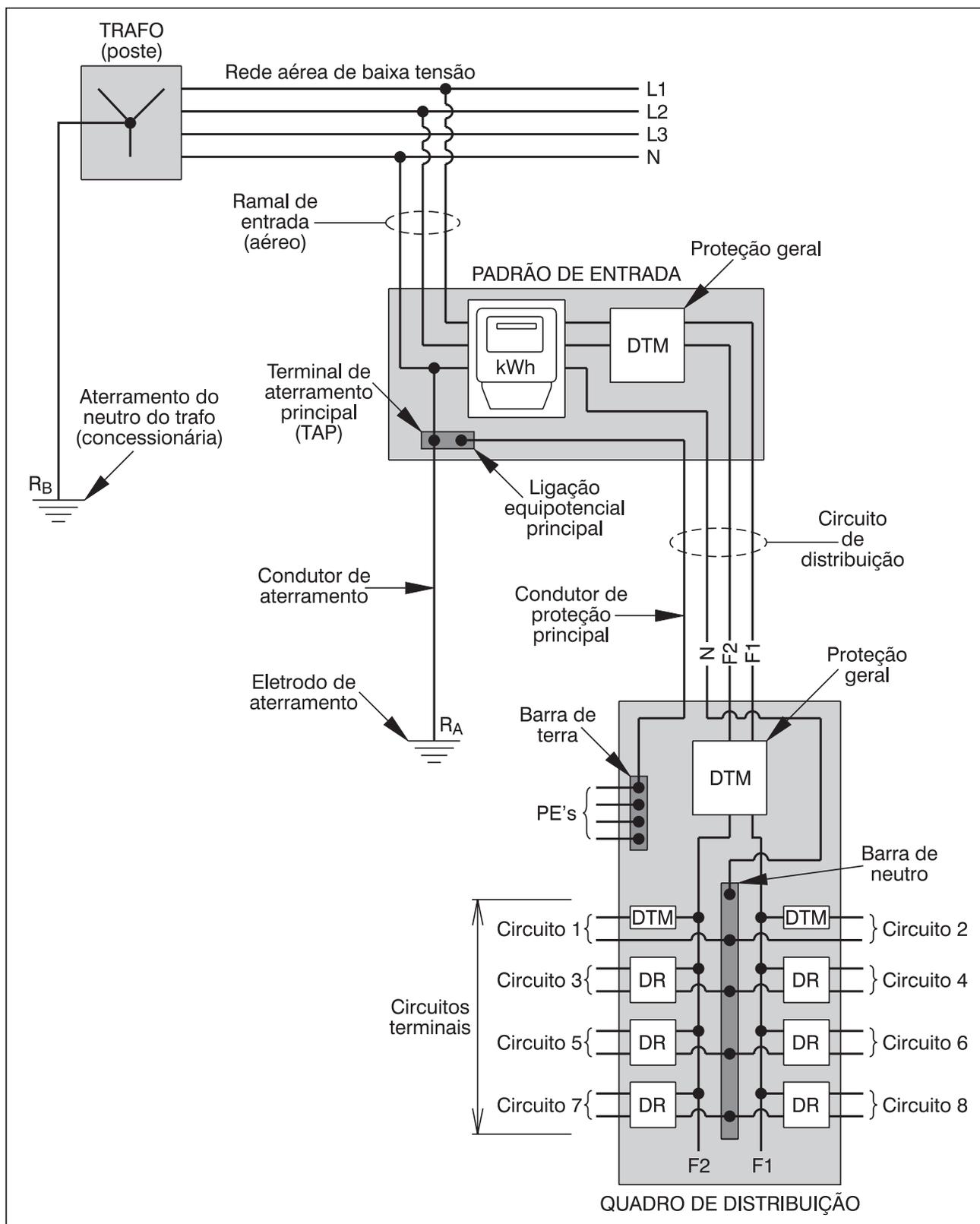
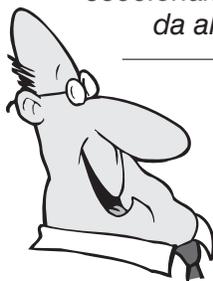


Figura 9.9:
esquema de proteção contra sobrecorrentes e contatos diretos e indiretos de nossa residência.

9. .1 Dimensionamento da Proteção para a nossa residência

Como nos circuitos terminais de nossa residência que possuem condutor de proteção (circuitos 3 até 8), serão usados DR, o que já garante a segurança contra contatos indiretos, não é preciso lhes aplicar a expressão 9.6 (critério de proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação).



Para a nossa residência, os disjuntores serão escolhidos entre aqueles mostrados na tabela 8.1 (NBR 5361).

Se nenhum deles for adequado para algum circuito, a seção nominal dos condutores correspondentes será aumentada, de forma a que tais dispositivos possam ser especificados (critério de dimensionamento para sobrecarga).

O ponto de partida do dimensionamento da proteção é o cálculo da corrente de curto no quadro de distribuição. Para isto, como são conhecidos:

- tipo do circuito (tabela 7.11) bifásico (2F + N)
- tensão (tabela 7.11) 127/220V
- comprimento (item 7.3.5) 7,30m
- material dos condutores (item 7.3.2, passo 1) cobre
- seção dos condutores (tabela 7.18) 16mm²

e a concessionária informa que a corrente de curto-circuito na origem é de 2kA, aplicando a expressão 9.3 (monofásico 220V) e os dados a ela anexados, obtém-se:

$$I_{CC} = \frac{22}{\sqrt{\frac{484}{2^2} + \frac{100 \times 0,90 \times (2 \times 7,30)}{2 \times 16} + \frac{5 \times (2 \times 7,30)^2}{16^2}}} = 17 \text{ A}$$

Disjuntor do Circuito 1 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DTM
- corrente (tabela 7.11) 4,9A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 1,5mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,65

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 17,5A para a capacidade I_z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 17,5 \times 0,65 = 11,4 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a expressão 9.1:

$$4,9 \leq I_N \leq 11,4$$

o que conduz à escolha do disjuntor de I_N igual a 10A da tabela 8.1.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,5kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{10} = 170 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 1,5^2}{1700^2} = 0,0103 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

Disjuntor do Circuito 2 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DTM
- corrente (tabela 7.11) 3,6A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 1,5mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,70

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 17,5A para a capacidade I_Z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 17,5 \times 0,70 = 12,3 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a expressão 9.1:

$$3,6 \leq I_N \leq 12,3$$

o que conduz à escolha do disjuntor de I_N igual a 10A da tabela 8.1.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{10} = 170 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 1,5^2}{1700^2} = 0,0103 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

Disjuntor do Circuito 3 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DR
- corrente (tabela 7.11) 12,6A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 2,5mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,65

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 24A para a capacidade I_Z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_Z é:

$$I'_Z = I_Z \cdot FCT \cdot FCA = 24 \times 0,65 = 15,6 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a expressão 9.1:

$$12,6 \leq I_N \leq 15,6$$

o que conduz à escolha do disjuntor de I_N igual a 15A da tabela 8.1.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{15} = 113,3 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 2,5^2}{1700^2} = 0,0286 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

■ Quanto à proteção contra choque elétrico, em consonância com o item 8.3.4, será adotado dispositivo a corrente residual-diferencial de alta sensibilidade, isto é, com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$.

Disjuntor do Circuito 4 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DR
- corrente (tabela 7.11) 15A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 2,5mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,80

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 24A para a capacidade I_z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 24 \times 0,80 = 19,2 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a expressão 9.1:

$$15 \leq I_N \leq 19,2$$

Esta faixa permite apenas a escolha do disjuntor de 15A da tabela 8.1, que, se adotado, atuaria no seu limiar, pois a corrente do circuito também é de 15A.

Portanto, como observado no início do dimensionamento, a seção dos condutores deste circuito deverá ser aumentada, no caso, para 4mm², cuja capacidade de condução de corrente, pela tabela 7.7, é 32A.

Como os demais parâmetros do circuito não se alteram, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer a nova seção de 4mm² sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 32 \times 0,80 = 25,6 \text{ A}$$

Em consequência, de acordo com a expressão 9.1, para exercer proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá se situar dentro da seguinte faixa:

$$15 \leq I_N \leq 25,6$$

para a qual, a tabela 8.1 diz serem disponíveis disjuntores de 15, 20 e 25A. Será escolhido o de 20A.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{20} = 85 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 4^2}{1700^2} = 0,0732 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

■ Quanto à proteção contra choque elétrico, em consonância com o item 8.3.4, será adotado dispositivo a corrente residual-diferencial de alta sensibilidade, isto é, com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$.

Disjuntor do Circuito 5 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DR
- corrente (tabela 7.11) 15A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 4mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,70

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 32A para a capacidade I_z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 32 \times 0,70 = 22,4 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a seguinte condição:

$$15 \leq I_N \leq 22,4$$

Nesta faixa, a tabela 8.1 diz serem disponíveis disjuntores de 15 e 20A. Será escolhido o de 20A, pois o de 15A ficaria no limiar de atuação, em virtude da corrente do circuito também ser de 15A.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{20} = 85 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 4^2}{1700^2} = 0,0732 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

■ Quanto à proteção contra choque elétrico, em consonância com o item 8.3.4, será adotado dispositivo a corrente residual-diferencial de alta sensibilidade, isto é, com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$.

Disjuntor do Circuito 6 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DR
- corrente (tabela 7.11) 14,2A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 6mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,65

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 41A para a capacidade I_z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 41 \times 0,65 = 26,7 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a seguinte condição:

$$14,2 \leq I_N \leq 26,7$$

Nesta faixa, a tabela 8.1 diz serem disponíveis disjuntores de 15, 20 e 25A. Será escolhido o de 15A.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{15} = 113,3 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 6^2}{1700^2} = 0,1647 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

■ Quanto à proteção contra choque elétrico, em consonância com o item 8.3.4, será adotado dispositivo a corrente residual-diferencial de alta sensibilidade, isto é, com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$.

Disjuntor do Circuito 7 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DR
- corrente (tabela 7.11) 20A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 4mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 0,65

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 32A para a capacidade I_z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 32 \times 0,65 = 20,8 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a seguinte condição:

$$20 \leq I_N \leq 20,8$$

Esta faixa permite apenas a escolha do disjuntor de 20A da tabela 8.1, que, se adotado, atuaria no seu limiar, pois a corrente do circuito também é de 20A.

Portanto, como observado no início do dimensionamento, a seção dos condutores deste circuito deverá ser aumentada, no caso, para 6mm^2 , cuja capacidade de condução de corrente, pela tabela 7.7, é 41A.

Como os demais parâmetros do circuito não se alteram, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer a nova seção de 6mm^2 sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 41 \times 0,65 = 26,7 \text{ A}$$

Em consequência, de acordo com a expressão 9.1, para exercer proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá se situar dentro da seguinte faixa:

$$20 \leq I_N \leq 26,7$$

para a qual, a tabela 8.1 diz serem disponíveis disjuntores de 20 e 25A. Será escolhido o de 25A.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{25} = 68 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 6^2}{1700^2} = 0,1647 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

■ Quanto à proteção contra choque elétrico, em consonância com o item 8.3.4, será adotado dispositivo a corrente residual-diferencial de alta sensibilidade, isto é, com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$.

Disjuntor do Circuito 8 — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DR
- corrente (tabela 7.11) 15,9A
- seção dos condutores (tabela 7.18) $2,5\text{mm}^2$
- $FCT \times FCA$ (tabela 7.11) 0,70

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 24A para a capacidade I_Z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 24 \times 0,70 = 16,8 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a seguinte condição:

$$15,9 \leq I_N \leq 16,8$$

Nesta faixa, não há nenhum disjuntor disponível na tabela 8.1. Portanto, como observado no início do dimensionamento, a seção dos condutores deste circuito deverá ser aumentada, no caso, para 4mm^2 , cuja capacidade de condução de corrente, pela tabela 7.7, é 32A.

Como os demais parâmetros do circuito não se alteram, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer a nova seção de 4mm^2 sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_z é:

$$I'_z = I_z \cdot FCT \cdot FCA = 32 \times 0,70 = 22,4 \text{ A}$$

Em consequência, de acordo com a expressão 9.1, para exercer proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá se situar dentro da seguinte faixa:

$$15 \leq I_N \leq 22,4$$

para a qual, a tabela 8.1 diz ser disponível o disjuntor de 20A, que será escolhido.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \quad (1^{\text{a}} \text{ condição da expressão 9.2})$$

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{20} = 85 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 4^2}{1700^2} = 0,0732 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

■ Quanto á proteção contra choque elétrico, em consonância com o item 8.3.4, será adotado dispositivo a corrente residual-diferencial de alta sensibilidade, isto é, com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$.

Disjuntor do Circuito de Distribuição — como sabe-se que:

- tipo do dispositivo (item 9.4) DTM
- corrente (tabela 7.11) 57,4A
- seção dos condutores (tabela 7.18) 16mm²
- FCT × FCA (tabela 7.11) 1,00

e como a linha elétrica está embutida em alvenaria, em eletrodutos não magnéticos, a tabela 7.4 informa que isto corresponde ao método de instalação B1 e, para esta configuração, a tabela 7.7 fornece 68A para a capacidade I_Z de condução de corrente dos condutores.

Então, pela expressão definida no item 9.2.1, a corrente máxima que pode percorrer o condutor sem ultrapassar a temperatura de regime permanente θ_Z é:

$$I'_Z = I_Z \cdot FCT \cdot FCA = 68 \times 1,00 = 68 \text{ A}$$

■ Quanto à proteção contra sobrecarga, a corrente nominal I_N do disjuntor deverá atender a seguinte condição:

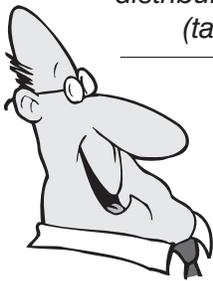
$$57,4 \leq I_N \leq 68$$

Para esta faixa, a tabela 8.1 informa ser disponível o disjuntor de 60A, que será escolhido.

■ Quanto à proteção contra curto-circuito, como a tabela 8.1 indica que a corrente I_R do disjuntor escolhido é de 5kA e, portanto:

$$I_R = 5 \text{ A} > I_{CC} = 1,7 \text{ A} \text{ (1ª condição da expressão 9.2)}$$

de boa prática, manter no interior do quadro de distribuição o diagrama unifilar da instalação (figura 9.11) e o quadro de distribuição de cargas (tabela 9.5).



9. Dimensionamento dos Condutores de Proteção

ele atende a este aspecto preliminar. Adicionalmente, pela curva de atuação do disjuntor da tabela 8.1, para uma corrente de curto-circuito presumida de 1,7kA, seu tempo de desarme é:

$$\frac{I_{CC}}{I_N} = \frac{1700}{60} = 28,3 \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s}$$

e, pela 2ª condição da expressão 9.2, como o tempo admissível é:

$$t = \frac{115^2 \times 16^2}{1700^2} = 1,1715 \text{ s} \rightarrow T_{dd} = 0,008 \text{ s} < t$$

o disjuntor escolhido garante a proteção desejada.

Disjuntor do Padrão de Entrada — como sabe-se que:

- potência total instalada (tabela 4.9). 14,74k
 - tipo de fornecimento (item 4.6) bifásico (tipo B)
- da tabela 4.12, para unidades consumidoras urbanas/rurais, com ligação a 2 e 3 fios, a corrente I_N nominal do disjuntor deve ser de 60A. Como a corrente nominal deste disjuntor tem que ser, no mínimo, igual ao do instalado no quadro de distribuição, fica confirmada a escolha feita no item 9.4.1.

Quadro de Distribuição de Cargas — Com a aplicação do critério da sobrecarga, que acabamos de proceder ao dimensionarmos os dispositivos de proteção para nossa residência, quando, aliás, os condutores dos circuitos 4, 7 e 8 tiveram sua seção aumentada, a versão final do quadro de distribuição de cargas pode ser apresentada com todos os dados preenchidos. É o que mostra a tabela 9.5.

Para encerrar o assunto de dimensionamento dos condutores, resta apenas determinar a seção nominal do condutor de aterramento, dos condutores de proteção principal e das massas e, se necessário (o que não ocorre em nossa residência), do condutor de equipotencialidade suplementar; o que é tarefa bastante simples, uma vez que:

- para o condutor de aterramento, a seção nominal é escolhida por intermédio da tabela 9.6;
- para os condutores de proteção principal e das massas, a seção nominal é escolhida, em função da seção do maior cabo fase instalado no eletroduto que o contém, como indi-

Tabela 9.5
Quadro de Distribuição de Cargas

Circuitos Terminais		Tensão [V]	Local	Potência [VA]		Corrente [A]			Condutor	Proteção		
Nº	Tipo			Unit.	Total	Calculada	Fator de Correção	Corrigida	Seção Nominal [mm ²]	Tipo	Nº Polos	Corrente [A]
1	Ilumin. Social	127	Sala Dorm. A Banho Hall Dorm.B	1 x 100 1 x 160 1 x 100 1 x 100 1 x 160	620	4,9	0,65	7,5	1,5	DTM	1	10
2	Ilumin. Serviço	127	Copa Cozinha A. Serv. A. Ext.	1 x 100 1 x 160 1 x 100 1 x 100	460	3,6	0,70	5,1	1,5	DTM	1	10
3	TUG's	127	Sala Dorm. A Banho Hall Dorm.B	3 x 100 3 x 100 1 x 600 1 x 100 3 x 100	1600	12,6	0,65	19,4	2,5	DR	2	15
4	TUG's	127	Copa	3 x 600 1 x 100	1900	15,0	0,80	18,8	4	DR	2	20
5	TUG's	127	Cozinha	3 x 600 1 x 100	1900	15,0	0,70	21,4	4	DR	2	20
6	TUG's	127	A. Serv.	3 x 600	1800	14,2	0,65	21,9	6	DR	2	15
7	TUE	220	Chuveiro	1 x 4400	4400	20,0	0,65	30,8	6	DR	2	25
8	TUE	220	Torneira	1 x 3500	3500	15,9	0,70	22,7	4	DR	2	20
Circuito de Distribuição		220	Quadro	12636		57,4	1,00	57,4	16	DTM	2	60
			Padrão							DTM	2	60

cado na tabela 9.7. Na prática, como mostra a figura 9.10, instala-se um único condutor de proteção em cada trecho de eletroduto, interligando vários aparelhos e tomadas;

■ para o condutor de equipotencialidade suplementar, a seção nominal é escolhida por intermédio da tabela 9.8.

Em vista disso:

■ para o condutor de aterramento, optamos por utilizar um condutor isolado de cobre, cuja seção nominal, pela tabela 9.6, será de 16mm².

■ para os condutores de proteção principal e das massas, como indicado no desenho 3.43, para cada trecho de eletroduto, utilizamos um único condutor, tomando como ba-

Atenção

Como esquematizado na figura abaixo, o condutor neutro não deve ser usado para proteção das massas, pois seu rompimento as colocaria no mesmo potencial da fase, agravando o perigo de choque elétrico

Massa

se para a seção nominal dos mesmos a seção do maior cabo fase do respectivo trecho, conforme a tabela 9.7.

Tabela 9.6
Seção Mínima do Condutor de Aterramento

Tipo do Condutor		S [mm ²]
Condutor isolado ou cabo unipolar (cobre)		16
Cabo de cobre nú	solo ácido	16
	solo alcalino	25

Tabela 9.7
Seção Mínima dos Condutores de Proteção Principal e das Massas

Seção Nominal do Condutor Fase [mm ²]	Seção Nominal dos Condutores de Proteção [mm ²]
até 16	mesma da fase, mas, no mínimo, 2,5mm ²
acima de 16 até 35	16
acima de 35	50 da seção da fase

Notas:
 – podem ser usados condutores isolados, cabos unipolares e veias de cabos multipolares;
 – o fio terra deve estar junto aos condutores vivos do circuito a que pertença, no mesmo conduto ou, então, ser uma veia do cabo multipolar do circuito;
 – ao calcular 50 da seção da fase, usar o valor comercial imediatamente superior.

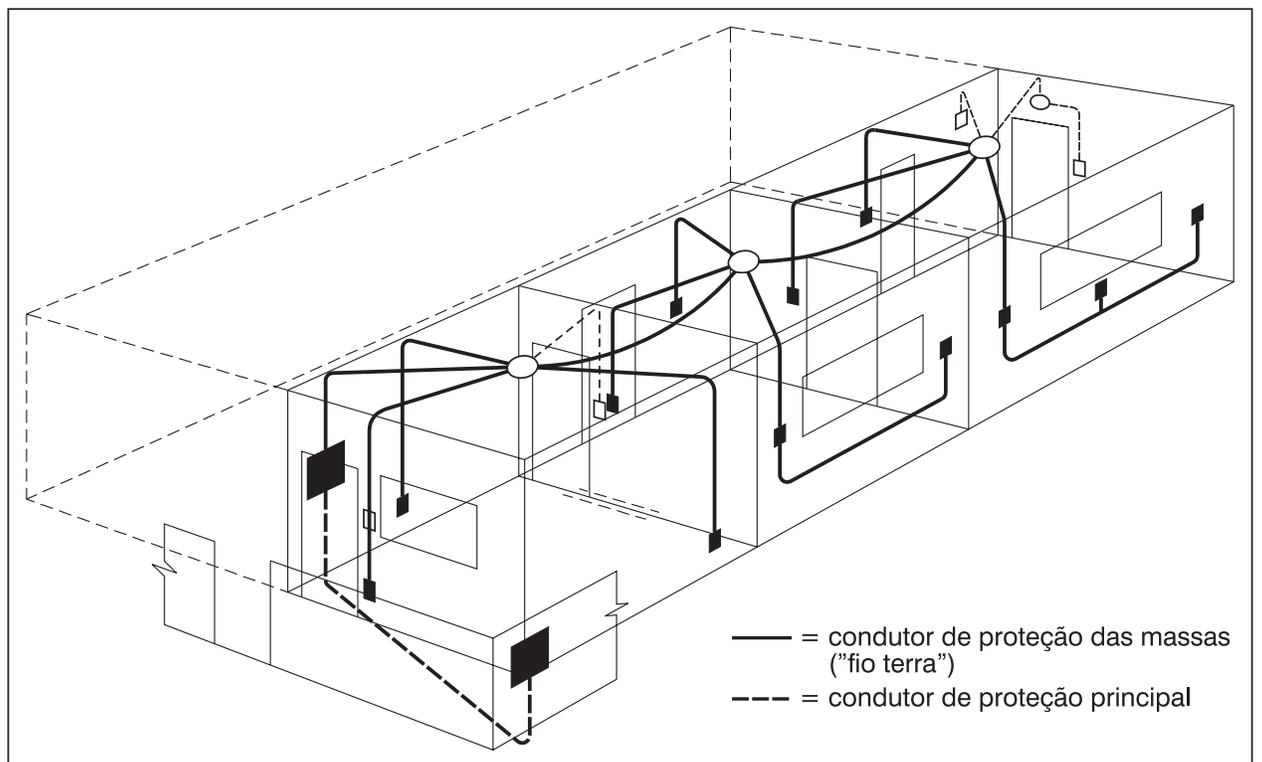


Figura 9.10: usando um nico condutor de proteção das massas em cada trecho de eletroduto.

Tabela 9.8 Seção Mínima do Condutor de Equipotencialidade Suplementar	
Tipo de Ligação	Seção Nominal
Massa-massa	Igual à seção do PE de menor seção ligado às massas.
Massa-elemento condutor	50 da seção do PE ligado à massa.
Entre 2 elementos condutores	– Com proteção mecânica: 2,5mm ² ; – Sem proteção mecânica: 4mm ² .

Nota: usar condutor isolado ou cabo unipolar (cobre).

Finalmente, pode-se implantar a versão final do diagrama unifilar de nossa residência (veja a figura 9.11), cujo arranjo inicial foi apresentado no item 5.4.1.

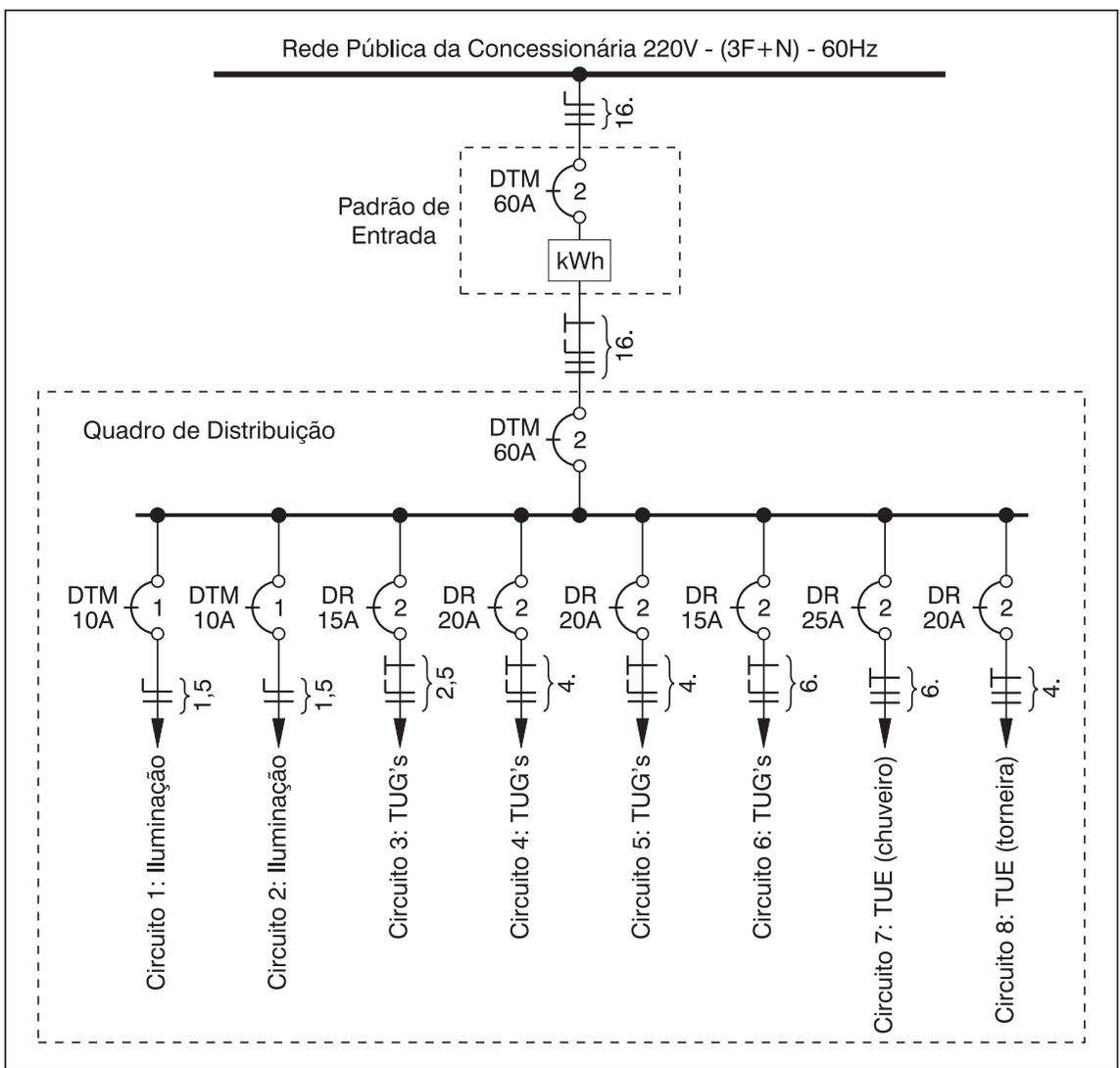


Figura 9.11: versão final do diagrama unifilar de nossa residência.

9. Eficácia da Proteção

(respostas na última página)

- a) Os condutores vivos devem ser protegidos por um ou mais dispositivos de seccionamento automático contra sobrecargas e curto-circuitos.
sim não
- b) A eficácia dos DTM's reside no seu tempo de atuação, isto é, no intervalo de tempo que necessitam para interromper o circuito, que, por sua vez, é função de suas correntes nominais (ou de ajuste).
sim não
- c) Nas instalações elétricas residenciais, os pontos em que se instalam DTM's para proteção contra curto-circuitos são os de entrega de energia pela concessionária (no padrão de entrada, antes do medidor) e os de início dos circuitos terminais (no quadro de distribuição).
sim não
- d) As medidas de proteção passivas impõem o seccionamento automático da alimentação, enquanto as ativas impõem a limitação da intensidade da corrente que possa atravessar o corpo humano, por meio de um eficiente aterramento das massas.
sim não
- e) A proteção contra contatos indiretos é garantida pela qualidade dos componentes e da instalação, bem como por determinadas disposições físicas dos componentes.
sim não
- f) A maior parte dos acidentes de origem elétrica em locais residenciais, ao contrário do que se imagina, são devidos a contatos diretos, resultante da falta de manutenção, negligência e imprudência.
sim não
- g) O seccionamento automático é a principal medida de proteção contra contatos indiretos prescrita pela NBR 5410, pois destina-se a evitar que a tensão de contato U_B , superior à tensão limite U_L , se mantenha por um tempo que possa resultar em risco de efeito fisiológico danoso para as pessoas.
sim não

- h) Ao contrário do que muitos supõem, o simples aterramento das massas, ligando-as aos condutores de proteção, não é suficiente para garantir a segurança.
sim não
- i) O critério de dimensionamento de sobrecarga é aplicado após o dimensionamento pelos critérios tradicionais (lição 07), ou seja, após terem sido determinadas a seção nominal dos condutores vivos, o tipo e a corrente nominal de atuação do dispositivo de proteção e, logicamente, o comprimento do circuito.
sim não
- j) O dimensionamento dos condutores de proteção principal e das massas é feito em função da seção do maior cabo fase instalado no eletroduto que o contém.
sim não
- k) O condutor neutro pode ser utilizado opcionalmente ao invés do fio terra para proteção das massas dos equipamentos elétricos.
sim não

