



INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense

Câmpus
Passo Fundo

EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS — FUNDAMENTOS

Alexsander Furtado Carneiro

A corrente elétrica no corpo humano

- O **choque elétrico** consiste em uma perturbação de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano ou animal quando este é percorrido por uma corrente elétrica.
- O aumento substancial das aplicações e da utilização da energia elétrica nas últimas décadas levou pesquisadores de diversos países a realizar minuciosos estudos sobre os perigos que a corrente elétrica pode causar ao passar pelo **corpo humano**.

A corrente elétrica no corpo humano

- O documento internacional, considerado orientação básica para a proteção de seres humanos e animais domésticos contra choques elétricos em instalações elétricas, é composto por cinco publicações da série **IEC 60479: Effects of current on human beings and livestock**, que consolidam os estudos realizados sobre o assunto.

A corrente elétrica no corpo humano

IEC/TS 60479-1: Effects of current on human beings and livestock (Efeitos da corrente nos seres humanos e nos animais)

- Part 1: General aspects (Aspectos gerais)
- Part 2: Special aspects (Aspectos especiais)
- Part 3: Effects of currents passing through the body of livestock (Efeitos da corrente que passam pelo corpo)
- Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock (Efeitos de descargas atmosféricas em seres humanos)
- Part 5: Touch voltage threshold values for physiological effects (Valores limite de tensão de toque para efeitos fisiológicos)

Os perigos da eletricidade

- Qualquer atividade biológica, seja ela glandular, nervosa, seja muscular, é estimulada ou controlada por impulsos de corrente elétrica.
- Se essa corrente fisiológica interna se somar a outra corrente de origem externa, devido a um contato elétrico, ocorrerá uma alteração das funções vitais normais no organismo humano, que pode levar o indivíduo à morte, dependendo da duração da corrente.
- Os principais efeitos que uma corrente elétrica (externa) produz no corpo humano são tetanização, parada respiratória, queimadura e fibrilação ventricular, descritas a seguir de uma maneira simplificada.

Tetanização

- A tetanização é um fenômeno decorrente da contração muscular produzida por uma corrente elétrica.
- Verifica-se que, sob a ação de um estímulo, o músculo se contrai e, em seguida, retorna ao estado de repouso, devido a uma diferença de potencial elétrico em uma fibra muscular.
- Se houver um segundo estímulo antes do repouso, os dois efeitos poderão se somar. Diversos estímulos simultâneos produzem contrações repetidas do músculo, de modo progressivo; é a chamada contração tetânica.

Tetanização

- Quando a frequência dos estímulos ultrapassa certo limite, o músculo é levado à contração completa e permanece nessa condição até que cessem os estímulos, retornando lentamente ao estado de repouso.
- O mesmo fenômeno, descrito de modo simplificado para uma fibra elementar neuromuscular, ocorre de maneira muito mais complexa no corpo humano que é atravessado por uma corrente elétrica.
- As frequências usuais de 50 e 60 Hz são suficientes para produzir uma completa tetanização, dependendo da intensidade da corrente elétrica.

Tetanização

- Uma pessoa em contato com uma peça sob tensão pode ficar “agarrada” a ela no período em que durar a diferença de potencial, que, dependendo da duração, pode levar à inconsciência e até à morte.
- É importante observar que o fenômeno é mais perigoso se considerarmos que a resistência elétrica do corpo humano diminui com a intensidade da tensão elétrica.

Limite de largar

- Define-se o **limite de largar** como a corrente máxima que uma pessoa pode suportar ao segurar um condutor energizado.
- Ela pode largá-lo usando os músculos voluntariamente estimulados. Em outras palavras, o limite de largar é o valor máximo de corrente que uma pessoa, tendo à mão um objeto energizado, pode ainda largar.
- Para essa grandeza, estudos mostram que, em corrente alternada 60 Hz, os valores se situam entre 6 e 14 mA em mulheres (média de 10 mA) e entre 9 e 23 mA em homens (média de 16 mA). Em corrente contínua, foram encontrados os valores médios de 51 mA em mulheres e 76 mA em homens.

Limite de largar

- Correntes inferiores ao limite de largar, embora não produzam, em geral, alterações graves no organismo, podem dar origem a contrações musculares violentas e, indiretamente, provocar acidentes, como quedas e ferimentos causados por partes móveis de máquinas.
- Correntes superiores ao limite de largar, podem causar uma parada respiratória, se a corrente for de longa duração. Essas correntes produzem sinais de asfixia na pessoa, graças à contração de músculos ligados à respiração e/ou à paralisia dos centros nervosos que comandam a função respiratória. Se a corrente permanece, a pessoa perde a consciência e morre por asfixia.

Limite de largar

- Por isso é importante prestar os primeiros socorros, fazendo respiração artificial (boca a boca). É necessário intervir imediatamente após o acidente (no máximo em três ou quatro minutos), para evitar asfixia ou lesões irreversíveis nos tecidos cerebrais.

Queimaduras

A passagem da corrente elétrica pelo corpo humano é acompanhada do desenvolvimento de calor por efeito Joule, podendo produzir queimaduras. A situação torna-se mais crítica nos pontos de entrada e de saída da corrente, uma vez que:

- A pele apresenta elevada resistência elétrica, enquanto os tecidos internos indicam resistência baixa.
- À resistência de contato entre a pele e as partes sob tensão soma-se a resistência da pele.
- A densidade de corrente é alta nos pontos de entrada e de saída da corrente, principalmente se as áreas de contato forem pequenas.

Queimaduras

- Quanto maior a densidade de corrente e mais longo o tempo pelo qual a corrente permanece, mais graves são as queimaduras produzidas.
- Nas altas tensões, em que há o predomínio dos efeitos térmicos da corrente, o calor produz a destruição de tecidos superficiais e profundos, bem como o rompimento de artérias, com conseqüente hemorragia e destruição dos centros nervosos.
- Observe que as queimaduras produzidas por correntes elétricas são internas, profundas e de difícil cura.

Fibrilação ventricular

- O fenômeno fisiológico mais grave que pode ocorrer quando a corrente elétrica passa pelo corpo humano é a **fibrilação ventricular do coração**. Trata-se de um fenômeno complexo e geralmente fatal.
- Sabe-se que o músculo cardíaco (miocárdio) se contrai ritmicamente de 60 a 90 vezes por minuto e sustenta, como se fosse uma bomba, a circulação sanguínea nos vasos.

Fibrilação ventricular

- A contração da fibra muscular é estimulada por impulsos elétricos provenientes do nóculo sinoatrial (NSA), situado na parte superior do átrio direito, e é um gerador biológico de impulsos elétricos que comanda o coração.
- Por meio de tecidos específicos de condução (feixe de His e rede de Purkinje), os impulsos de comando provenientes do nóculo sinoatrial são transmitidos às fibras musculares da parede do ventrículo do coração.
- Se à atividade elétrica fisiológica normal se acrescenta uma corrente elétrica de origem externa e muitas vezes maior que a corrente biológica, é fácil imaginar o que sucede com o equilíbrio elétrico do corpo.

Fibrilação ventricular

- As fibras do coração passam a receber sinais elétricos excessivos e irregulares, e as fibras ventriculares ficam super estimuladas de maneira caótica e passam a contrair-se desordenadamente, uma independente da outra, de modo que o coração não possa mais exercer sua função.
- É a **fibrilação ventricular**, na qual as fibras musculares do ventrículo vibram desordenadamente, estagnando o sangue dentro do coração.
- Dessa maneira, não há irrigação sanguínea pelo corpo, a pressão arterial cai a zero e a pessoa desmaia e fica em estado de morte aparente. A fibrilação ventricular é acompanhada da **parada respiratória** da vítima.

Fibrilação ventricular

- O fenômeno da fibrilação ventricular é irreversível de forma natural. No entanto, se adequadamente aplicada, uma carga elétrica violenta pode reverter o processo de fibrilação.
- Isso é feito com um desfibrilador elétrico, que utiliza dois eletrodos aplicados ao tórax, os quais provocam uma descarga elétrica na região cardíaca do paciente.
- É importante ter sempre telefones dos locais de atendimento de urgência e emergência para casos como esse.

Fundamentos da proteção contra choques elétricos

- A exemplo de outras normas, a NBR 5410 dá grande importância à proteção contra choques elétricos, o que é plenamente justificável, tendo em vista a quantidade de equipamentos elétricos utilizados pela população.
- Com efeito, se nas instalações elétricas de qualquer local não forem adotadas medidas apropriadas de segurança e proteção, serão altos os riscos de ferimentos ou até mesmo de morte por eletrocussão.

Contatos direto e indireto

O perigo pode existir tanto para:

- o eletricitista que, por acidente, toca em uma barra energizada de uma subestação ou de um quadro de distribuição,
- como para o operário que toca na carcaça acidentalmente energizada de um motor elétrico,
- e, ainda, para uma dona de casa que encosta a mão na caixa metálica de uma máquina de lavar roupa ou de uma geladeira, colocada sob tensão por uma falha na isolação.

Contatos direto e indireto

- É muito importante observar que, para uma pessoa, o perigo não está simplesmente em tocar um elemento energizado, seja uma parte viva (contato direto) seja uma massa sob tensão (contato indireto), e sim em tocar simultaneamente outro elemento que possui um potencial diferente do primeiro, ou seja, o perigo é proveniente da diferença de potencial.
- Como regra, deve-se levar em consideração que as pessoas estão sempre em contato com um elemento da edificação – por exemplo, o piso ou a parede – com um potencial bem-definido, em geral o da terra; nessa condição, qualquer contato com outro elemento que esteja em um potencial diferente pode ser perigoso.

Contatos direto e indireto

- Os **contatos diretos**, em sua maior parte, são devidos a desconhecimento, negligência ou imprudência das pessoas, e por isso são mais raros.
- Os **contatos indiretos**, por sua vez, são mais frequentes e imprevisíveis, e representam maior perigo. A eles a norma dá maior importância, como não poderia deixar de ser.
- A NBR 5410:2004 introduziu os conceitos de “**proteção básica**” e “**proteção supletiva**”, que correspondem, respectivamente, aos conceitos de “proteção contra contatos diretos” e de “proteção contra contatos indiretos”, que eram utilizados nas versões anteriores da norma.

Princípio fundamental de proteção contra choques elétricos

- A NBR 5410 indica que o princípio fundamental relativo à proteção contra choques elétricos compreende que as partes vivas perigosas não devem ser acessíveis, a fim de evitar o contato direto, e que as massas ou partes condutoras acessíveis não devem oferecer perigo, a fim de evitar o contato indireto, seja em condições normais, seja em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.
- Baseada nesse princípio fundamental, a norma indica, então, que a proteção contra choques elétricos inclui dois tipos de proteções: a **básica** e a **supletiva**.

Proteção básica

A proteção básica (contra contatos diretos), é garantida pela qualidade dos componentes e da instalação e por determinadas disposições físicas dos componentes, que podem ser utilizados para:

- Isolação das partes vivas.
- Barreiras ou invólucros de proteção.
- Obstáculos.
- Colocação fora do alcance das pessoas.
- Dispositivos de proteção à corrente diferencial residual.
- Limitação de tensão.

Proteção supletiva

A proteção supletiva (contra contatos indiretos), é prevista por meio de medidas que incluem:

- a adoção de equipotencialização (procedimento que consiste na interligação de elementos, visando obter a equipotencialidade necessária da instalação).
- seccionamento automático da alimentação,
- o emprego de isolamento suplementar
- e o uso de separação elétrica.

Proteção básica e supletiva

As proteções básica e supletiva combinadas (contra contatos diretos e indiretos), têm como base o uso de tensões extrabaixas e pode ser realizada por:

- Tensão extrabaixa de segurança (SELV) - Sistema de extrabaixa tensão que é eletricamente separado da terra, de outros sistemas e de tal modo que a ocorrência de uma única falta não resulta em risco de choque elétrico .
- Tensão extrabaixa funcional (PELV) - Sistema de extrabaixa tensão que não é eletricamente separado da terra mas que preenche, de modo equivalente, todos os requisitos da SELV.

Regra da proteção contra choques elétricos

A regra da proteção contra choques elétricos contida na NBR 5410 (as partes vivas não devem ser acessíveis e as massas acessíveis não devem oferecer perigo) estabelece que seja assegurado, no mínimo, o provimento conjunto de proteção básica e de proteção supletiva, mediante combinação de meios independentes ou mediante aplicação de uma medida capaz de prover ambas as proteções, simultaneamente.

Proteções ativa e passiva

Os métodos prescritos pela NBR 5410 para a proteção contra choques elétricos podem ser divididos em dois grupos: **proteção passiva** e **proteção ativa**.

- A **proteção passiva** consiste em limitar a corrente elétrica que pode atravessar o corpo humano ou em impedir o acesso de pessoas a partes vivas. São medidas que não levam em conta a interrupção de circuitos com falta.
- A **proteção ativa** consiste na utilização de métodos e dispositivos que proporcionam o seccionamento (abertura) automático de um circuito, sempre que houver faltas que possam trazer perigo para o operador ou usuário.

Aterramento e equipotencialização

Conforme a NBR 5410, o aterramento e a equipotencialização são fundamentais para a garantia do funcionamento adequado dos sistemas de proteção contra choques elétricos. Para entender a diferença entre aterramento e equipotencialização, vejamos as definições a seguir:

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

Aterramento e equipotencialização

- Assim, o conceito de “**aterramento**” envolve necessariamente algum tipo de contato das massas e elementos condutores com o solo, visando levar todos os componentes do sistema de aterramento a ficar no potencial mais próximo possível do solo.
- Por sua vez, o conceito de “**equipotencialização**” não envolve diretamente o solo, mas está relacionado ao objetivo de colocarmos todas as massas e elementos condutores no mesmo potencial entre si, independentemente de qual seja esse potencial em relação ao solo.

Aterramento

Aterramento é a ligação intencional da carcaça de um equipamento elétrico com a terra, que pode ser realizada utilizando apenas os condutores elétricos necessários – é o **aterramento direto** – ou por meio da inserção (intencional) de um resistor ou reator, introduzindo uma impedância no caminho da corrente à terra (**aterramento indireto**).

Aterramento

Nas instalações elétricas são considerados dois tipos de aterramento:

- **Aterramento funcional:** consiste na ligação à terra do condutor neutro, e está relacionado ao funcionamento correto, seguro e confiável da instalação.
- **Aterramento de proteção:** consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores da instalação, que visa à proteção contra choques elétricos por contato indireto.

Em algumas situações, pode-se ter, em uma instalação, um aterramento (combinado) funcional e de proteção.

Eletrodos de aterramento

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

O termo se aplica tanto a uma simples haste enterrada como a várias hastes enterradas e interligadas, e a diversos outros tipos de condutores em diversas configurações.

Tipos de eletrodos de aterramento

Conforme a NBR 5410, toda edificação deve dispor de uma infra-estrutura de aterramento, denominada eletrodo de aterramento, sendo admitidas as seguintes opções:

- Preferencialmente, devem ser usadas as próprias armaduras do concreto das fundações.
- Usar fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações.

Tipos de eletrodos de aterramento

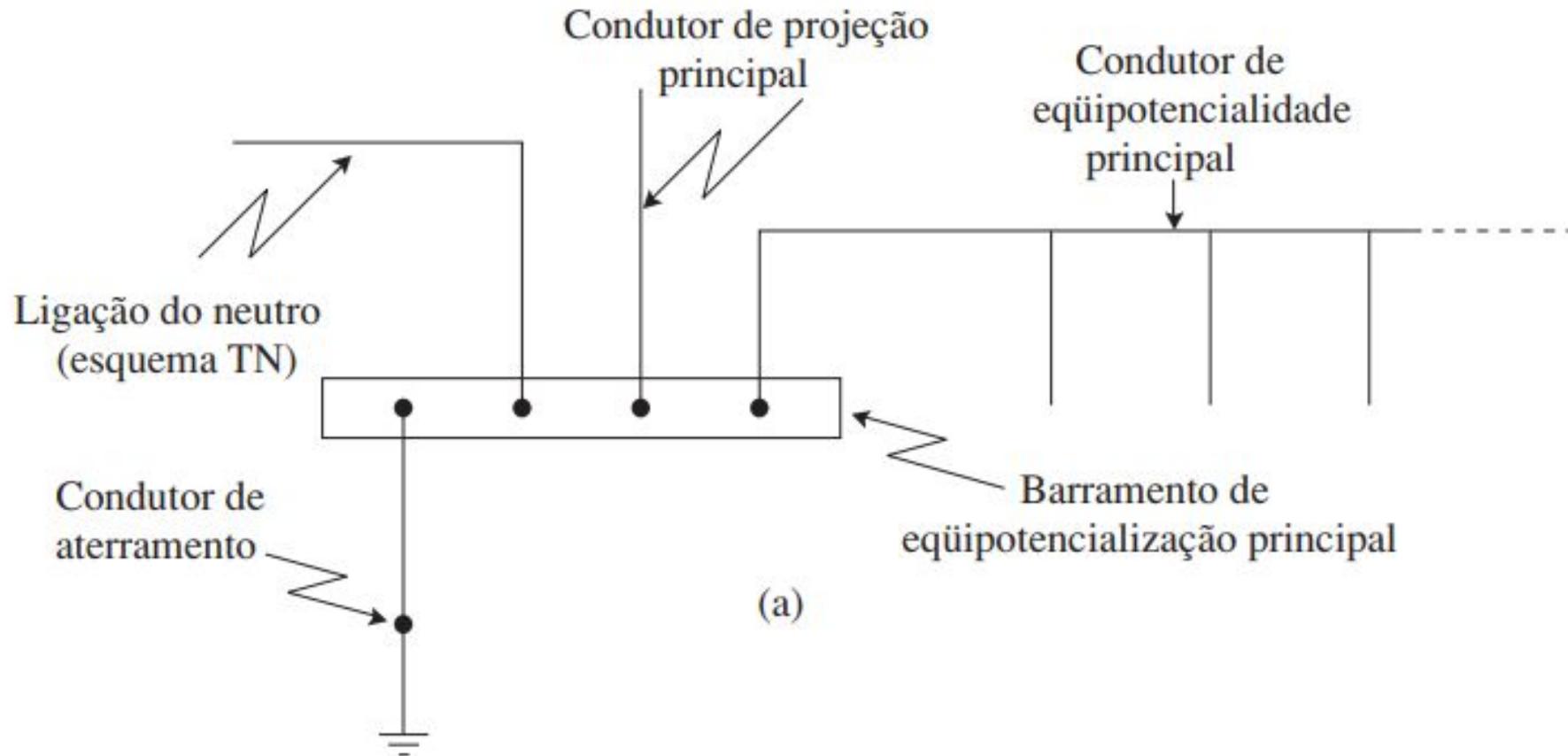
- Utilizar malhas metálicas enterradas, no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e, quando necessário, complementadas por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.
- Usar anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e, quando necessário, complementado por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.

Componentes do aterramento de proteção e equipotencialização

As medidas de proteção contra choques elétricos, de acordo com a NBR 5410, obrigatórias em qualquer tipo de edificação, baseiam-se na equipotencialidade das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação.

Seu “coração” é o barramento de equipotencialização principal (**BEP**), geralmente uma barra, que realiza a chamada ligação equipotencial principal

Componentes do aterramento de proteção e equipotencialização



Esquemas de aterramento

Os aterramentos devem assegurar, de modo eficaz, as necessidades de segurança e de funcionamento de uma instalação elétrica, constituindo-se em um dos pontos mais importantes de seu projeto e de sua montagem.

Esquemas de aterramento - Aterramento de proteção

O aterramento de proteção consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação. Possui como objetivos:

- Limitar o potencial entre massas, entre massas e elementos condutores estranhos à instalação, e entre os dois e a terra, a um valor seguro sob condições normais e anormais de funcionamento.
- Proporcionar às correntes de falta um caminho de retorno para terra de baixa impedância, de modo que o dispositivo de proteção possa atuar adequadamente.

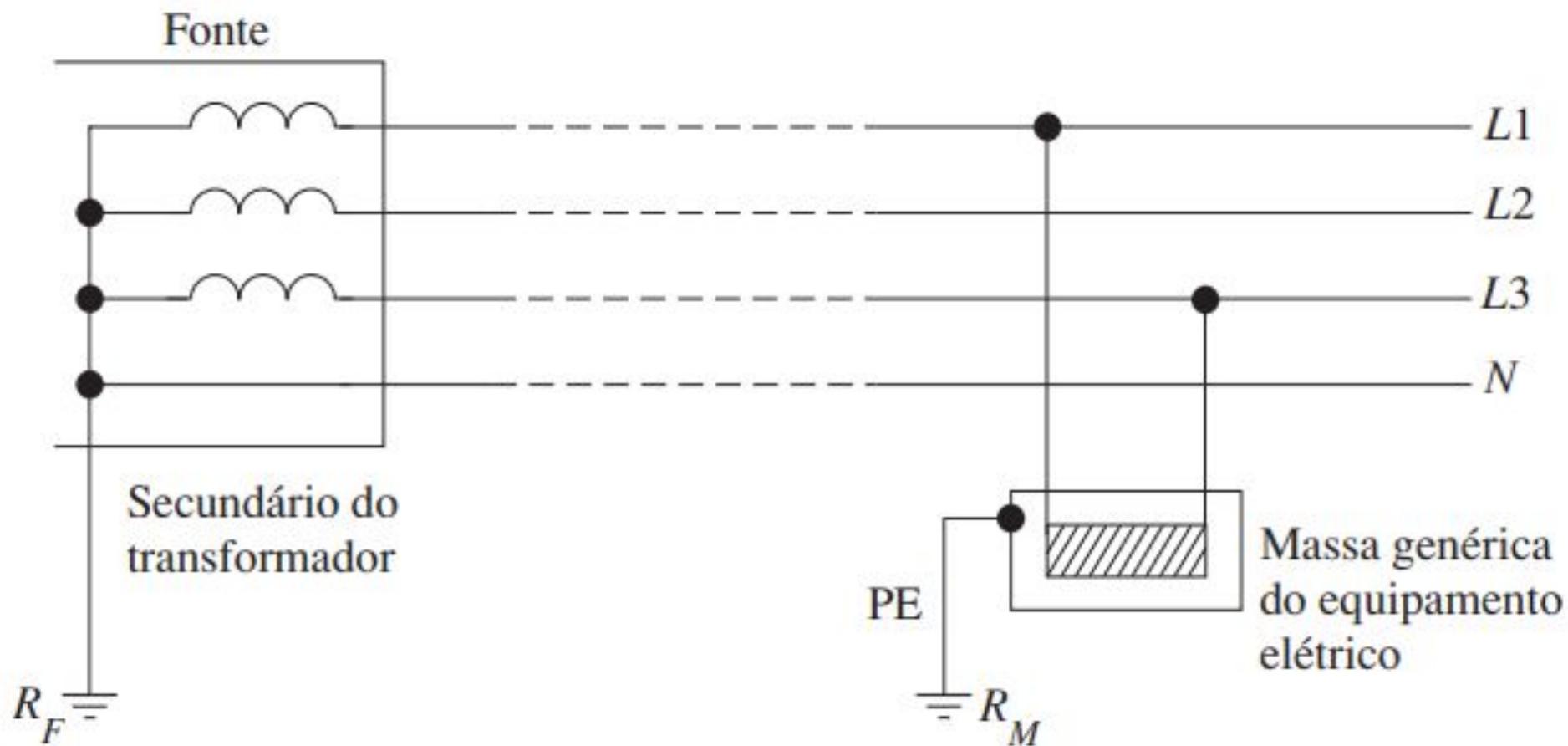
Esquemas de aterramento - Aterramento funcional

O aterramento funcional — a ligação à terra de um dos condutores vivos do sistema (em geral, o neutro) — proporciona:

- Definição e estabilização da tensão da instalação em relação à terra durante o funcionamento.
- Limitação de sobretensões devido a manobras, descargas atmosféricas e contatos acidentais com linhas de tensão mais elevada.
- Retorno ao sistema elétrico da corrente de curto-circuito monofásica ou bifásica à terra.

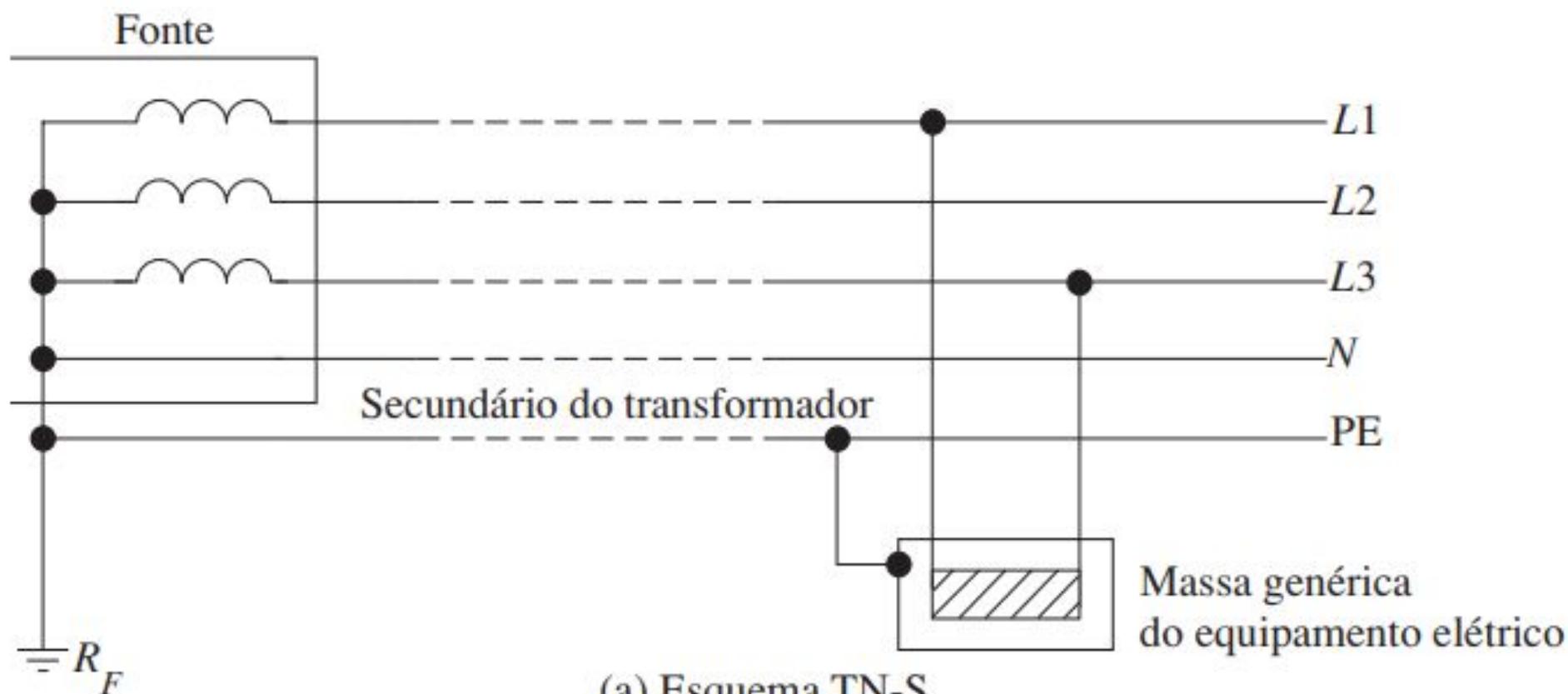
Esquemas de aterramento definidos na NBR 5410

Esquema TT



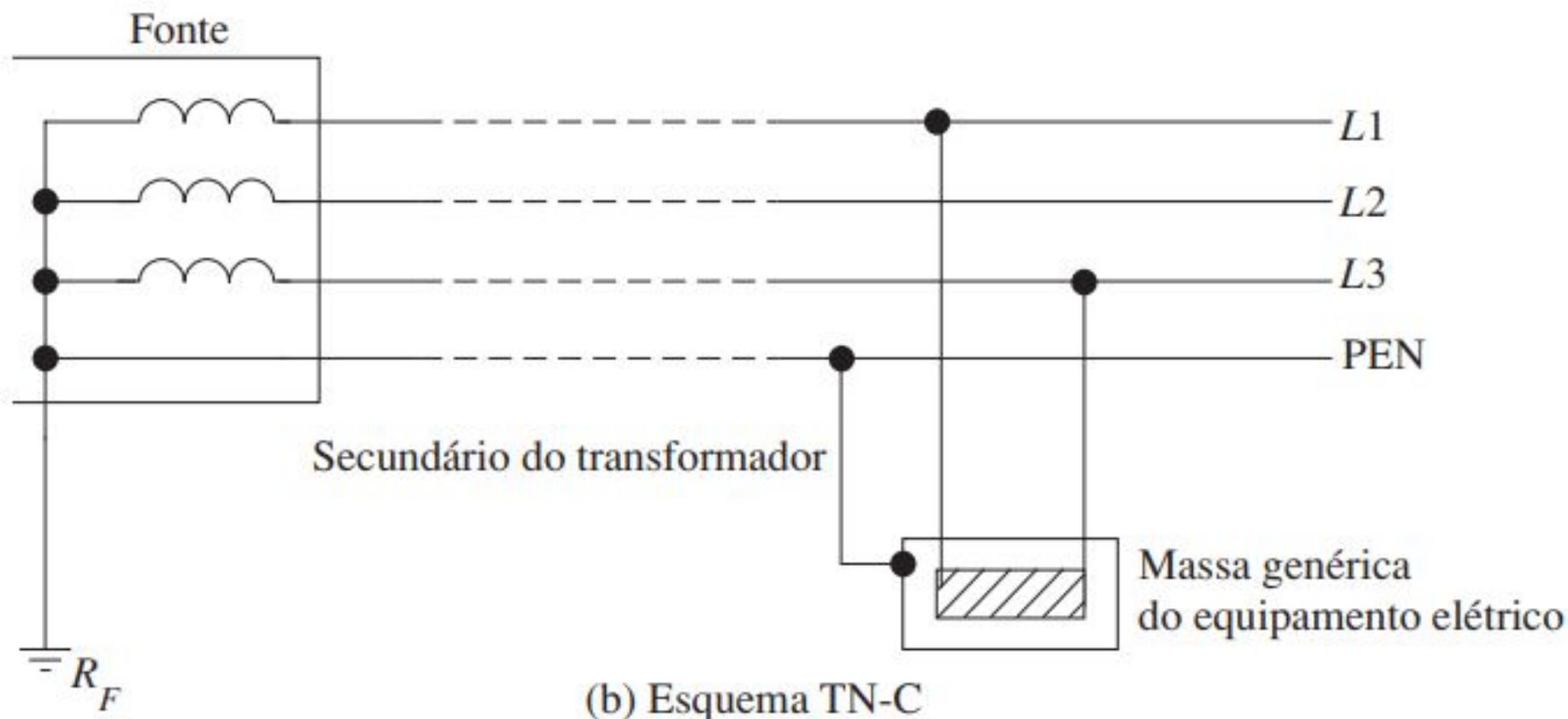
Esquemas de aterramento definidos na NBR 5410

Esquema TN-S



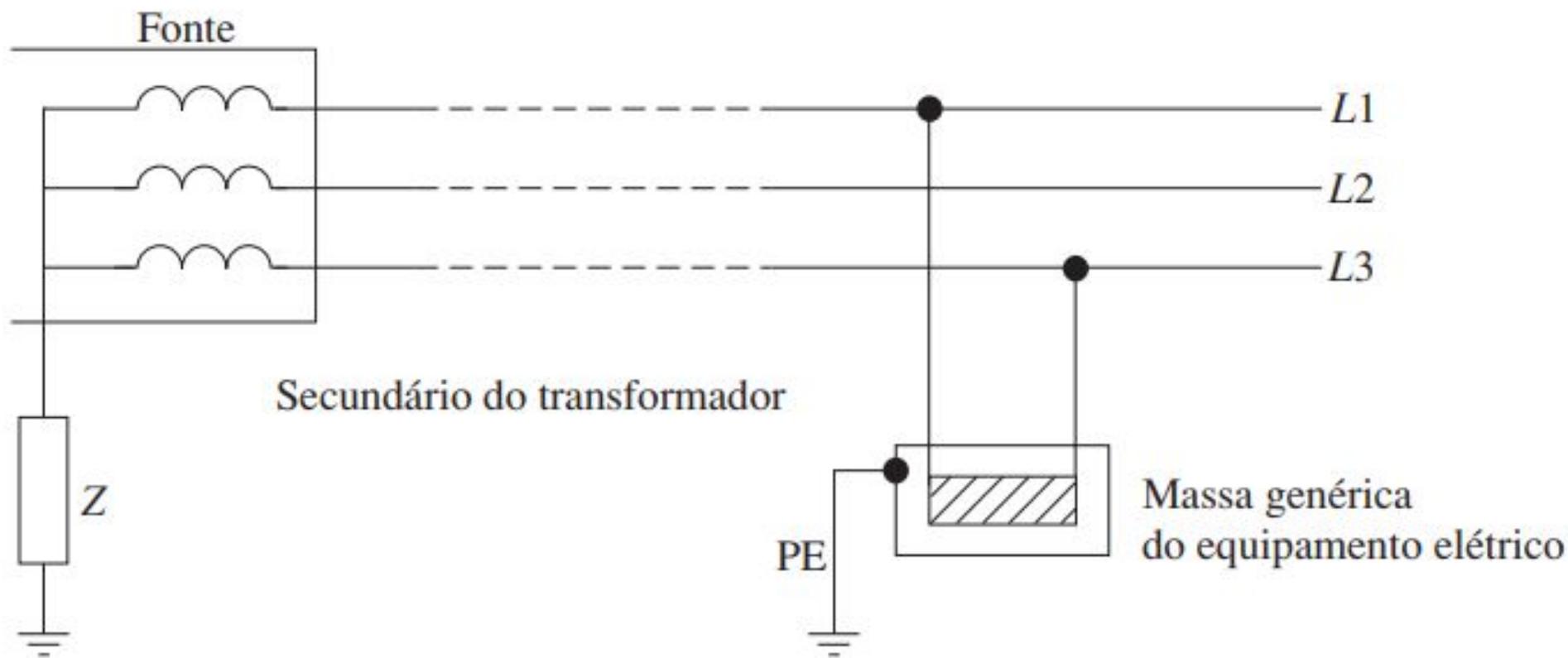
Esquemas de aterramento definidos na NBR 5410

Esquema TN-C



Esquemas de aterramento definidos na NBR 5410

Esquema IT



REFERÊNCIAS

Cotrim, Ademaro A.M.B., 1939- . Instalações elétricas; revisão e adaptação técnica José Aquiles Baesso Gromoni e Hilton Moreno. -- 5. ed. -- São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2009.

MUITO
OBRIGADO

Alexander Furtado Carneiro

Professor de Eletrotécnica

www.ifsul.edu.br
E-mail de contato
TELEFONE DE CONTATO