

Conceitos de Eletricidade

Aula 15 - Dispositivos de Prote o e Aterramento

Apresentação

Nesta aula, nós estudaremos o sistema de aterramento elétrico e suas funções de proteção, aprendendo a diferenciar os conceitos de terra, neutro e massa, bem como veremos alguns tipos de aterramento e dispositivos usados na proteção de circuitos em instalações elétricas prediais. Ainda complementaremos o tema sobre aterramento, estendendo sua importância na proteção de raios gerados por descargas atmosféricas. Entenderemos também como são produzidas as descargas elétricas atmosféricas, relâmpagos e raios e, ainda, como podemos nos proteger desses fenômenos por meio de para-raios.

Objetivos

- Diferenciar os conceitos de terra, neutro e massa.
- Conhecer e distinguir alguns dispositivos de proteção de circuitos em instalações elétricas.
- Conhecer os diferentes sistemas de aterramento elétrico utilizados para proteção de instalações elétricas e entender a influência do valor da resistência de aterramento na eficiência desse sistema.
- Explicar como são produzidos os raios e como funcionam os para-raios.
- Recapitular um pouco da história dos para-raios.
- Entender como o aterramento atua na ocorrência de descargas atmosféricas e como é feito o seu dimensionamento.

Conceitos Fundamentais

Quando ocorrem curtos-circuitos e fugas de corrente em instalações elétricas, é fundamental que a corrente de falha seja eliminada o mais rápido possível para minimizar os danos às instalações e às pessoas. Alguns dispositivos de proteção e os sistemas de aterramentos elétricos visam fazer isso de forma eficiente e segura.

Vimos que, quando ocorre uma falha de curto-circuito, a corrente de uma instalação elétrica “pega um atalho” por um caminho de menor resistência elétrica. Vimos também que a corrente não “pega esse atalho” impunemente, ela pode causar muita bagunça: queimar equipamentos ou até mesmo provocar choques elétricos nas pessoas em contato com o circuito elétrico.

Assim, é desejável que, nessa situação, a corrente seja rapidamente desviada de volta para a fonte de onde veio, interrompendo o circuito o mais rápido que for possível, por meio de sistemas de aterramento e dispositivos de proteção, para tentar minimizar possíveis danos materiais e aos seres humanos.

Enquanto alguns dispositivos de proteção visam interromper a corrente que poderá causar danos a equipamentos e pessoas, um sistema de aterramento elétrico procura fornecer para a corrente de risco um caminho mais rápido “para casa”, de modo a desviar a sua passagem por dispositivos, componentes ou pessoas que possam ser danificados ou afetados por ela.

Dispositivos de Proteção

Pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e em especial pela NBR 5410, que trata das recomendações para instalações elétricas de baixa tensão, em sua seção 5.1, fica estabelecido que, em caráter geral, para que a proteção contra choques elétricos possa garantir segurança, devem existir dois tipos de proteção: a básica e a supletiva. Nesse sentido, a proteção básica visa garantir que as partes vivas perigosas não devam ser acessíveis, e a proteção supletiva visa garantir que as

massas ou partes condutivas acessíveis não devam oferecer perigo, seja em condições normais, seja, em particular, em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.

A norma apresenta ainda um terceiro tipo de proteção, a adicional, obrigatória em situações em que o perigo do choque elétrico é maior do que o normal. Em uma situação normal, as proteções básica e supletiva são suficientes para garantir a proteção contra choques elétricos. Na proteção básica, dentre as medidas citadas pela norma – como adequadas para a proteção contra choques elétricos – está, em situação de risco, o seccionamento automático da alimentação, medida esta que é normalmente atendida em instalações elétricas prediais por dispositivos fusíveis e disjuntores.

As primeiras referências ao fusível que se tem notícia datam já do século 17, no entanto, a primeira patente registrada só veio a ocorrer em 1880, feita por Thomas Edison, numa tentativa de criar um produto inicialmente pensado para proteger o filamento da lâmpada incandescente recém-descoberta.

Com o tempo, os fusíveis ganharam alto desempenho, designs modernos e tamanhos reduzidos, embora mantenham até hoje o mesmo conceito, que é o de um filamento (que se funde ao ser percorrido por uma corrente, superior a sua corrente nominal, causada por uma sobrecarga ou por um curto-circuito) emerso em um envoltório que, dependendo da aplicação, pode ser, por exemplo, cerâmico, de vidro, de papel etc., como alguns mostrados na **Figura 1**.

Figura 01 - Alguns padrões/modelos de fusíveis usados na proteção de circuitos elétricos.



Fonte: <<https://www.google.com.br/#q=fusíveis>>. Acesso em: 8 jun. 2014.

Os disjuntores distinguem-se dos fusíveis por serem dispositivos que podem ser rearmados após sua atuação. Com função semelhante à dos fusíveis, os disjuntores possuem uma corrente nominal definida. Ultrapassado esse limite, após um pequeno intervalo de tempo, há o desarme automático do dispositivo, protegendo, dessa maneira, os componentes da instalação. Embora não se saiba ao certo quando o disjuntor tenha sido inventado, seu surgimento em escala industrial ocorreu entre a segunda e a terceira década do século vinte.

O fusível apresenta, em geral, mais simplicidade e menor custo que o disjuntor, embora apresente o inconveniente de, após atuar, ter de ser substituído, ao passo que o disjuntor, após o seu desarme, pode ser rearmado e reutilizado.

A **Figura 2** mostra dois disjuntores termomagnéticos. O primeiro para uso em instalações elétricas monofásicas (fase - neutro) e o segundo para instalações elétricas trifásicas.

Figura 02 - Disjuntores termomagnéticos



Fonte: <<http://www.luzville.com.br/novo/produtos.php?pagina=29&catprod=&maxprod=18>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

Atenção!

Quando um disjuntor ou um fusível atua, o usuário não deve simplesmente rearmá-lo (caso do disjuntor) ou substituí-lo (caso do fusível) sem antes buscar a causa elétrica que provocou o desarme do disjuntor ou a queima do fusível.

Atividade 01

1. Procure na internet sobre disjuntores termomagnéticos e descreva que fatores influenciam e como atuam na proteção de circuitos de instalações elétrica prediais.

Diferencial-Residual (DR)

Tanto o fusível como o disjuntor podem funcionar como dispositivos de proteção contra choques elétricos, contudo, como suas sensibilidades para detectar alguma falta na corrente dos condutores são baixas, normalmente, o dispositivo – apontado pela NBR 5410 como sendo o adequado – é o Diferencial Residual, mais conhecido como DR. O funcionamento desse dispositivo consiste na verificação da soma vetorial de todas as correntes que percorrem os condutores de uma instalação elétrica. Em condições normais, o somatório será igual a zero (equipotencialidade garantida, que é mais uma das medidas apontada pela NBR 5410 a ser tomada para prevenção do choque elétrico). Caso haja alguma falta de corrente ou fuga de corrente para a terra, o DR acusa seccionando o circuito ou desligando o equipamento sob sua proteção. Atualmente, o DR pode vir adicionado a um disjuntor, conjunto conhecido por DDR – Disjuntor Diferencial Residual ou acoplado a um interruptor, conjunto conhecido por IDR – Interruptor Diferencial Residual.

Figura 03 - Disjuntores diferenciais residuais.



Fonte: <http://3.bp.blogspot.com/-y3bYUtNgeh8/Uc4CSeHr2jI/AAAAAAAAALY/O_or7FUiZuQ/s450/DR.jpg>.

Atividade 02

1. Busque na internet mais informações sobre os DDR e IDR. Quando usar um ou outro? Qual a sensibilidade de corrente desses dispositivos? Existe alguma classificação quanto a essa sensibilidade de corrente? Se sim, qual?

Atividade 03

1. Para alguns autores, o dispositivo DR funciona como um verdadeiro inspetor de qualidade da instalação elétrica. Por que será? Associe sua resposta às medidas de equipotencialização desejáveis em qualquer instalação elétrica.

Sistemas de Aterramento

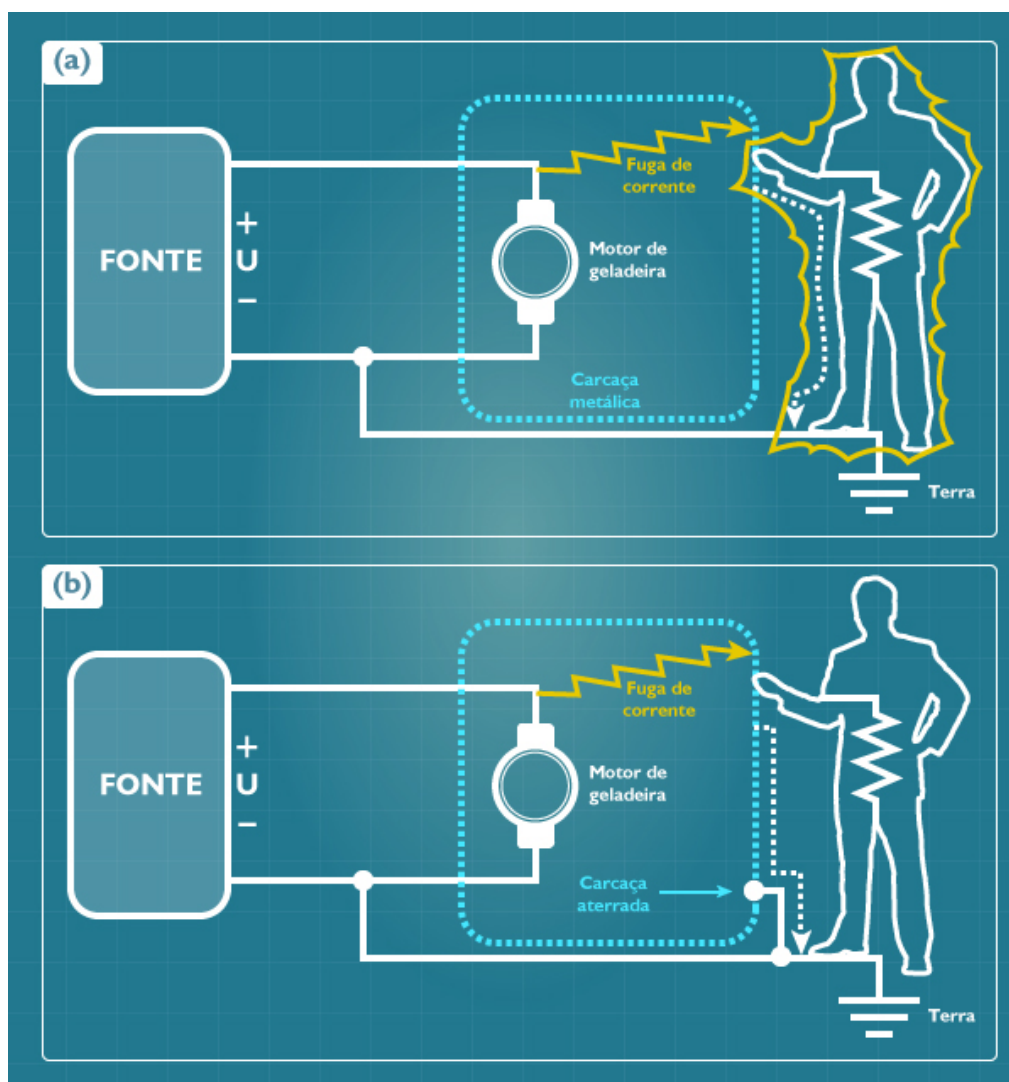
No caso dos sistemas de aterramento, a intenção é criar um caminho de resistência elétrica mínima, por onde a maior parte da corrente de fuga possa ser desviada. Como a terra pode ser considerada como um grande condutor elétrico, a ideia é desviar a corrente de fuga para ela, de modo que através dela, a corrente retorne rapidamente à fonte.

A **Figura 4** ilustra esse conceito. Na **Figura 4a**, temos um circuito alimentando um equipamento elétrico, por exemplo, uma geladeira, cuja carcaça metálica não está aterrada. Suponha que, por algum motivo, acontece um curto-circuito (por exemplo, o fio de alimentação descascado encosta na carcaça metálica da geladeira).

A fuga de corrente para a carcaça resulta na acumulação de uma carga estática nela. Na hora em que alguém for abrir a geladeira tocando na sua porta, a tendência é que a fuga de corrente para a carcaça procure o menor caminho para a terra, nesse caso, através da baixa resistência do corpo da pessoa, descendo pela sua mão, braço, corpo e perna até a terra, de modo a retornar à fonte. Aí temos um choque elétrico que pode ter graves consequências.

Se, no entanto, como mostrado na **Figura 4b**, a carcaça da geladeira estiver conectada a terra através de um condutor de baixa resistência (menor que a resistência do corpo da pessoa), a maior parte da corrente de fuga vai ser redirecionada para esse atalho, diminuindo o risco de acontecer um choque grave.

Figura 04 - Geladeira dando choque: (a) sem aterramento: a corrente de fuga circula para a terra através do corpo da pessoa; (b) com aterramento: a maior parte da corrente de fuga é desviada para terra através do "fio terra".



Fonte: Autoria própria.

Quando a carcaça é aterrada, durante um curto-circuito, a corrente de fuga passa dela para a terra. Como essa corrente geralmente é elevada, o fusível ou o disjuntor que protege a instalação atua interrompendo o circuito e evitando que pessoas possam levar choque. Se a carcaça não estiver aterrada, o desvio da corrente para a terra vai ocorrer assim que uma pessoa tocar no aparelho, ocasionando o choque.

Assim, em ordem de ocorrência, podemos destacar três funções principais para o sistema de aterramento:

- a. Descarregar para a terra cargas estáticas acumuladas na carcaça de aparelhos, máquinas e equipamentos elétricos e eletrônicos;
- b. Facilitar a ação de equipamentos de proteção (fusíveis e disjuntores) através do desvio da corrente para a terra;
- c. Prover um caminho alternativo da corrente para a terra, protegendo o usuário.

Em equipamentos eletrônicos com componentes e circuitos integrados muito sensíveis (PCs, equipamentos médicos, equipamentos científicos etc.), a acumulação de uma carga elétrica estática na sua carcaça pode induzir correntes elétricas que resultem na queima dos seus circuitos eletrônicos, de forma que um bom aterramento elétrico é indispensável. Na hora de dimensionar um bom aterramento é que entra o técnico e o engenheiro eletricitista.

Atividade 04

1. Procure tabelas que mostrem níveis de corrente aceitáveis e que não causem danos físicos às pessoas.
-

Sabemos que a tensão elétrica é a medida da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um circuito. Quando dizemos que a tensão sobre um resistor é de 10 V, estamos dizendo que a diferença de potencial elétrico entre eles é 10 V. Isto é, o potencial do terminal por onde a corrente “entra” é 10 V em relação ao terminal por onde a corrente “sai”, e vice-versa. O potencial do terminal por onde a corrente “sai” do resistor é -10 V em relação àquele por onde a corrente “entra”.

Assim, para medir potenciais elétricos, precisamos de um ponto de referência, ao qual atribuímos arbitrariamente o potencial zero, ou **potencial de referência**. Como o planeta Terra tem a capacidade de absorver uma quantidade imensa de carga elétrica, seja positiva, seja negativa, ele pode ser considerado como um imenso condutor de cargas elétricas.

Por essa razão, costumamos medir potenciais em relação à Terra, convencionando o seu potencial como zero volts, ou seja, convencionamos que a terra está no **potencial de referência** ou **potencial terra**. No entanto, não necessariamente o potencial de referência precisa ser a Terra. Por exemplo, em um dispositivo eletrônico alimentado por baterias, como um telefone celular, não existe nenhuma conexão elétrica com a Terra. Nesses casos, costumamos arbitrar o potencial de referência (zero volts) ao polo negativo da bateria, que, por vício de linguagem, chamamos também de **terra do circuito**, embora não tenha nenhuma conexão com a terra propriamente dita.

Atividade 05

1. Ao tocar um condutor de neutro de uma instalação elétrica o que poderá ocorrer? Considere em sua resposta situações de equipotencialidade e de não equipotencialidade da instalação elétrica do fio de neutro tocado.
-

Podemos fazer uma analogia entre o circuito elétrico e um sistema hidráulico. Se tivermos, por exemplo, uma caixa d'água no teto de uma casa ligada por um cano a uma piscina no seu quintal, a pressão da água da caixa em relação ao chão da piscina é maior do que a pressão da água na superfície da piscina em relação ao seu chão.

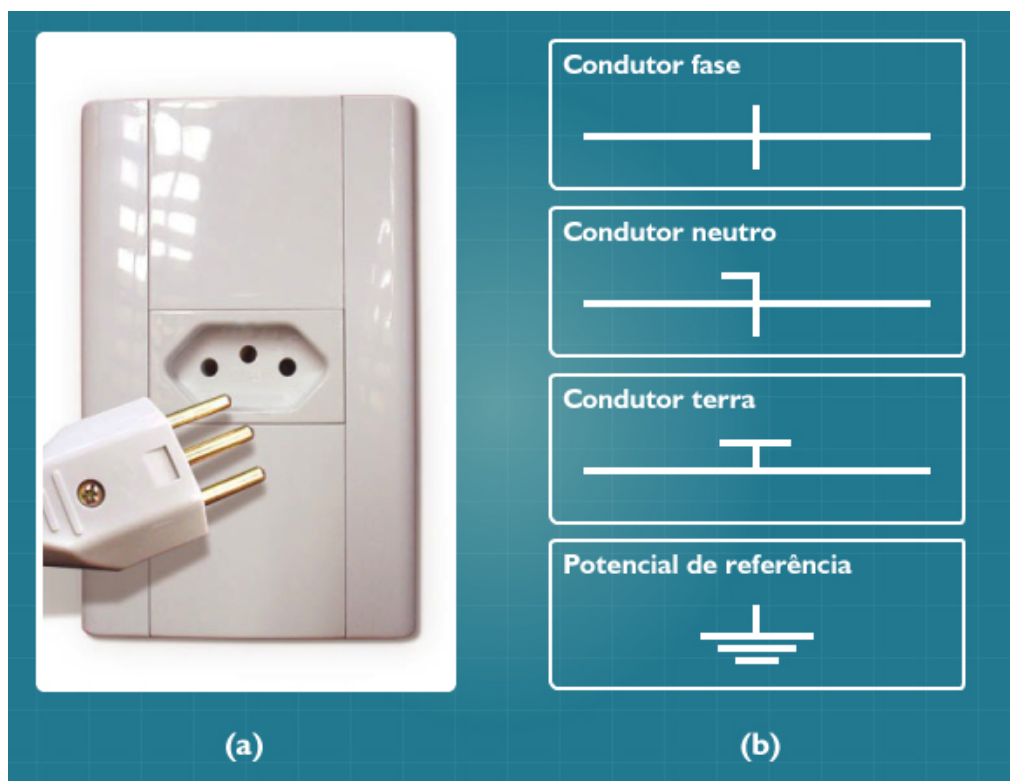
Como a caixa está mais alta que a superfície da piscina em relação ao seu fundo, a diferença de pressão entre ambas faz com que a água corra pelo cano da caixa para a piscina. Assim, podemos imaginar a pressão da água como sendo análoga ao potencial elétrico. A diferença de pressão entre a caixa e a piscina é análoga à diferença de potencial elétrico (tensão) entre os terminais do resistor.

O fluxo de água através do cano é análogo à corrente elétrica que circula no resistor. Indo mais longe com a nossa analogia, imaginemos dois lagos situados em diferentes altitudes e ligados por um rio. A pressão da água irá fazer com que esta corra pelo rio do lago mais alto para o lago mais baixo. No planeta Terra, a maioria da água nos continentes vai correndo de lagos mais altos para lagos mais baixos por meio de rios, indo finalmente desaguar no mar.

Lembram-se da música Riacho do navio, de Luiz Gonzaga e Zé Dantas? “Riacho do navio corre pro Pajeú, o Rio Pajeú vai despejar no São Francisco, o Rio São Francisco vai bater no meio do mar [...]” Pois bem, é disso mesmo que estamos falando. Assim como convencionamos medir a altitude dos lagos em relação ao nível do mar, de forma análoga, convencionamos atribuir à Terra o potencial de referência (zero volts), em relação ao qual medimos o potencial elétrico de todos os outros pontos de um circuito elétrico.

Você já deve ter visto uma tomada elétrica. De acordo com o novo padrão brasileiro de tomadas elétricas, cada plugue possui três pinos: fase, neutro e terra. A **Figura 5** mostra a disposição deles em uma tomada e a simbologia adotada para os condutores elétricos associados. O condutor de fase pode ser da cor vermelha, preta ou branca; o condutor neutro é da cor azul clara e o condutor terra é verde-amarelo ou verde. Na Figura 4b é mostrada como esses condutores e o potencial de referência de terra são representados em projetos e esquemas de instalações elétricas.

Figura 05 - Neutro, terra e fase: (a) novo padrão de tomadas elétricas; (b) simbologia

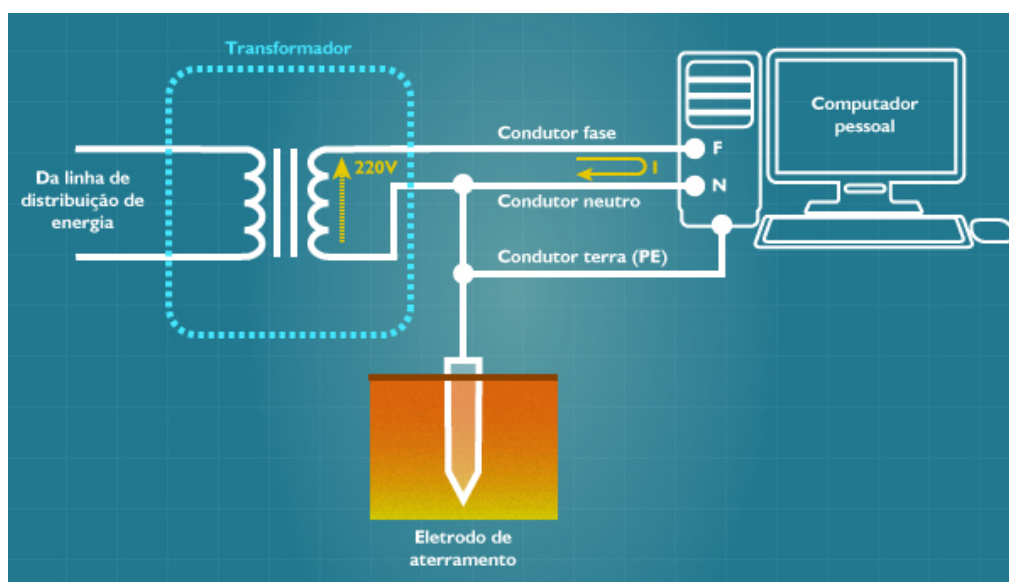


Fonte: (a) Adaptada de: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EDG78045-6010,00-AS+NOVAS+TOMADAS.html>>; (b) Autoria própria. Acesso em: 16 out. 2011.

Antes de continuar o nosso estudo, vamos diferenciar quatro conceitos fundamentais em circuitos e instalações elétricas que por vezes são confundidos: terra, neutro, massa e potencial de referência. Para ilustrar esses conceitos, analisemos a **Figura 6**, que mostra a ligação típica de um computador pessoal à rede elétrica de 220 V.

Na **Figura 6**, podemos perceber que a alimentação de 220 V que vem do transformador da concessionária de energia elétrica, na forma de um condutor fase e um condutor neutro, quando desce do poste para a caixa de entrada na casa do usuário, necessita de um eletrodo de aterramento (haste padrão) conectado ao condutor neutro, dentro da residência. O condutor neutro também é aterrado no transformador de distribuição da concessionária.

Figura 06 - Instalação elétrica residencial típica



Fonte: Autoria própria.

Assim, teoricamente, o neutro deveria estar no potencial de terra (zero volts). Acontece que as concessionárias geralmente transmitem e distribuem a energia elétrica no sistema trifásico. Se você já reparou nos fios de energia nos postes da rede de distribuição, deve ter constatado que geralmente vemos quatro fios. Desses quatro fios, três são condutores de fase e o quarto é o neutro. As três fases transmitem, como já vimos, correntes alternadas “defasadas” no tempo, ou seja, que atingem seus valores máximos e mínimos em instantes diferentes.

Em uma vizinhança, uma fase (mais o neutro) fornece energia a um grupo de consumidores, enquanto as outras fases alimentam outros grupos de consumidores. Se acontecer de duas fases alimentarem consumidores com características de consumo muito diferentes (por exemplo, uma fase alimenta residências, enquanto outra alimenta uma indústria), pode ocorrer um **desbalanceamento de fases**. Nessa situação, essa diferença pode fazer com que o potencial do neutro flutue e assuma valores diferentes do potencial de terra.

Voltando à nossa análise da **Figura 6**, podemos perceber que o computador está conectado aos condutores de fase e neutro (que vêm da rede elétrica), cuja diferença de potencial é 220 V. O neutro está ligado a terra por meio de um eletrodo de aterramento (haste de aterramento), justamente para evitar que o seu potencial flutue em relação a terra.

Assim, a corrente que alimenta o computador vem pelo condutor de fase e retorna à rede pelo neutro. Já a carcaça metálica do computador, a qual também chamamos de **massa**, também está conectada por um condutor, denominado de **condutor terra**, ao eletrodo de aterramento. Assim, **neutro** (identificado pela letra N) é o condutor procedente da linha de distribuição de energia elétrica pelo qual se dá o retorno de corrente à rede elétrica, enquanto **terra** (identificado pelas letras PE – **Proteção Elétrica**) é o condutor que liga a carcaça metálica (massa) do aparelho ou equipamento elétrico à haste de aterramento.

Enquanto normalmente a corrente circula pelo neutro, pelo condutor terra só deve circular corrente transitoriamente em situações de falha; por exemplo, quando ocorrer uma fuga de corrente para a carcaça, desviando-a para o eletrodo de terra.

Atividade 06

1. Conceitue condutor terra e condutor neutro, destacando as diferenças entre eles.

Tipos de Aterramento

Existem diversas formas de se configurar um sistema de aterramento. O condutor neutro sempre deve ser aterrado na entrada da instalação do consumidor. Dependendo da aplicação, um tipo de aterramento pode ser mais adequado do que outros. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da norma NBR 5410, padroniza as especificações dos possíveis tipos de aterramento. Antes de apresentar os mais utilizados, vamos detalhar a nomenclatura estabelecida pela ABNT para sistemas de aterramento. O aterramento é executado com o emprego de:

- **Condutor de proteção:** liga as massas e condutores que não fazem parte da instalação entre si e/ou a um terminal de aterramento principal. É denotado pelas letras **PE** (Proteção Elétrica). Quando o condutor combina as funções de proteção e neutro, é designado pelas letras **PEN**.
- **Eletrodo de aterramento:** condutor ou conjunto de condutores em contato direto com a terra, ligados ao terminal de aterramento. Quando constituído por uma barra metálica rígida, é denominado **haste de aterramento**. Quando constituído por um conjunto de condutores interligados, é denominado **malha de aterramento**.

Os principais sistemas de aterramento são descritos a seguir, conforme ilustrados na **Figura 7**.

Sistema TN-S

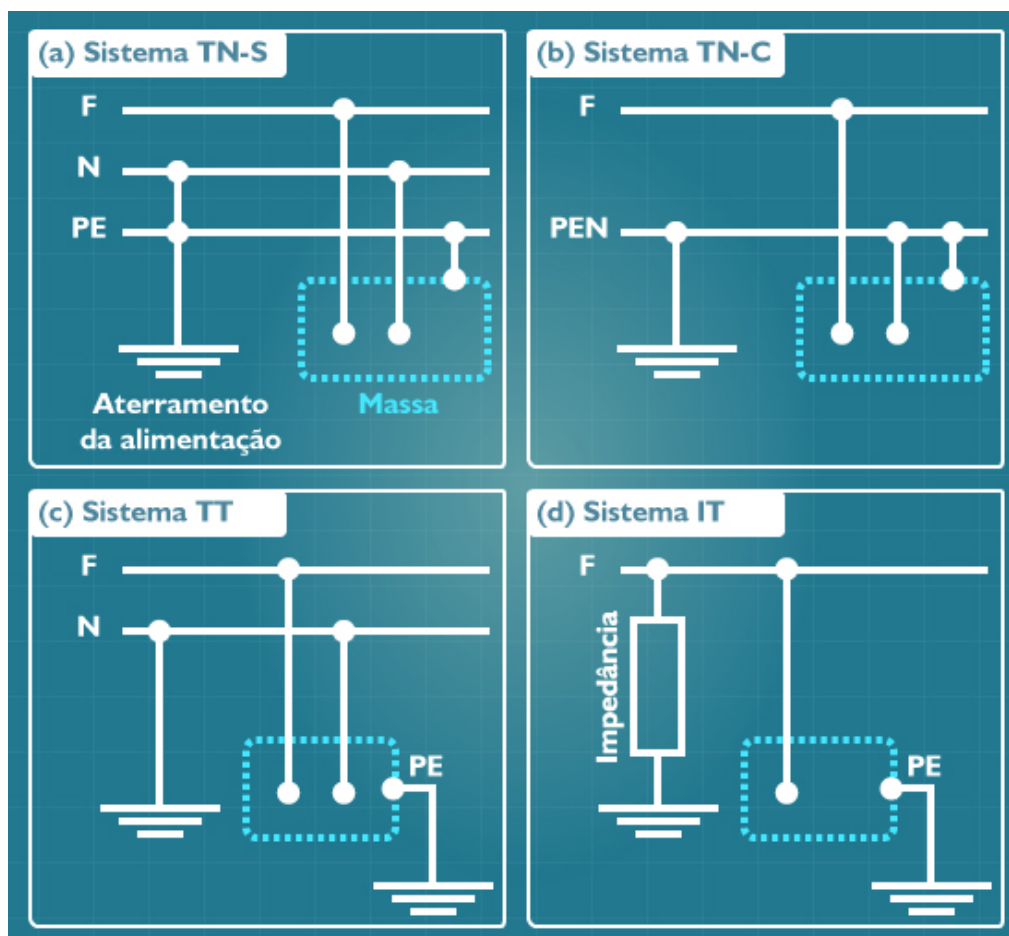
Nesse sistema, o neutro (N) é aterrado na entrada e o condutor de proteção (PE), também ligado ao eletrodo de aterramento, é usado como fio terra, sendo ligado diretamente à massa do equipamento.

Sistema TN-C

Nesse sistema, o neutro e o fio terra são combinados em um único condutor (PEN), sendo aterrado logo na entrada. No equipamento, é ligado ao terminal de neutro da tomada e à massa. Pelo fato de combinar neutro e terra em um mesmo

condutor, esse sistema não é muito aconselhável.

Figura 07 - Principais sistemas de aterramento.



Fonte: Autoria própria

Sistema TT

Nesse sistema de aterramento, o neutro é aterrado na entrada da alimentação e é conectado de forma independente ao terminal de neutro da tomada do equipamento. Por sua vez, a massa é aterrada através de uma haste independente da haste do neutro. Por usar aterramentos separados para neutro e massa, esse sistema é mais eficiente que os anteriores.

Sistema IT

Nesse sistema, a alimentação é aterrada por meio de uma impedância. As massas são aterradas sem passar por ela, de preferência com uma haste de aterramento independente para cada uma delas. A impedância tem a função de

limitar a corrente de curto-circuito, evitando que aconteçam sobretensões severas no equipamento.

Dentre os sistemas descritos, em instalações residenciais deve-se preferir, sempre que possível, o sistema TT. Caso este não seja possível por razões de operação ou por razões estruturais, dar preferência à instalação do sistema TN-S. Optar pelo sistema TN-C somente se for de fato impossível implantar qualquer um desses dois sistemas. O sistema de aterramento IT é utilizado em instalações especiais, por exemplo, instalações industriais ou hospitalares, em que sobretensões excessivas nos equipamentos não são toleradas e em que se deve minimizar a interrupção de funcionamento dos equipamentos.

Vamos dar uma trégua e retornar com a complementação sobre aterramento na próxima aula, na qual o associaremos com os problemas que podem advir de descargas atmosféricas, trovões e, usando uma expressão popular, “raios que os partam”. Como piada, usa-se dizer que: “Em dia de tempestades e trovoadas, o local mais seguro é perto da sogra, pois não há raio que a parta”.

Descargas Elétricas Atmosféricas

Sabemos que correntes elétricas são potencialmente perigosas, quando circulam fora dos circuitos das instalações elétricas das edificações. Em particular, pela sua grande intensidade, as descargas atmosféricas resultantes dos raios são extremamente perigosas quando atingem as instalações elétricas de residências e prédios. Para minimizar os seus efeitos e proteger edificações, equipamentos e pessoas, uma instalação adequada de para-raios torna-se necessária.

Vimos na primeira aula que, conforme experiências feitas séculos atrás pelo sábio grego Tales de Mileto, o atrito entre corpos de materiais diferentes gera cargas elétricas nas suas superfícies que resultam em fenômenos interessantes. Portanto, vimos que as cargas elétricas podem ser positivas ou negativas e que cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem.

Na atmosfera terrestre acontece fenômeno parecido a quando esfregamos dois corpos de materiais diferentes. Durante uma tempestade, estabelecem-se no interior das nuvens fortes correntes de ar ascendente. O vento ascendente carrega

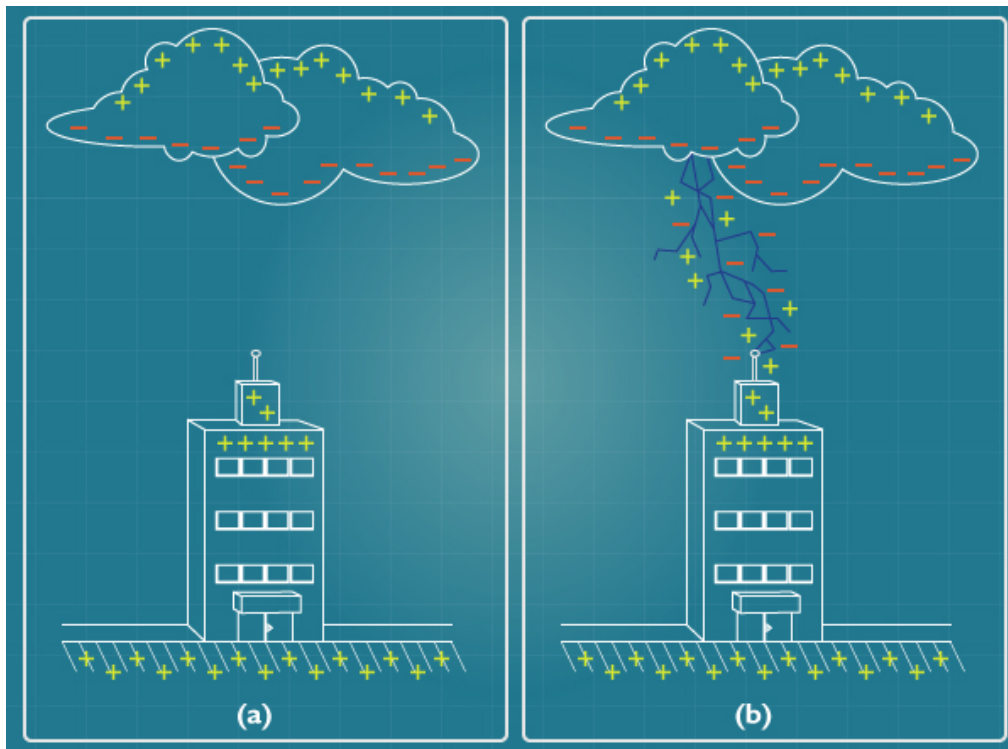
umidade, na forma de vapor. Assim, a certa altura, o vapor condensa, formando gotículas de água que vão aumentando de tamanho até ficarem suficientemente pesadas para caírem, por ação da gravidade. Na queda, as gotas vão se juntando a outras até que, ao atingir cerca de meio centímetro de diâmetro, tornam-se instáveis e se fragmentam. Ao se fragmentar, liberam íons negativos que são arrastados para a superfície da nuvem. Nesse processo, a parte inferior da nuvem fica carregada por cargas predominantemente negativas e a sua parte superior fica com cargas positivas. Desse modo, a carga negativa na parte inferior da nuvem induz uma carga negativa no solo, conforme mostrado na **Figura 8a**.

Na medida em que as cargas vão se acumulando, a diferença de potencial elétrico entre a nuvem e o chão vai aumentando. Sabemos que o ar, normalmente, é um meio isolante, porém se o campo elétrico (diferença de potencial por unidade de distância) aumentar suficientemente, chega um momento em que atinge um valor, a partir do qual o ar perde as suas propriedades isolantes, tornando-se condutor elétrico.

Esse limiar é denominado **campo elétrico disruptivo** do ar. Em condições normais, esse valor fica em torno de 30 kV/cm. Durante uma tempestade, a temperatura cai e a umidade aumenta, reduzindo o valor do campo elétrico disruptivo do ar, sendo assim mais fácil esse tornar-se um condutor elétrico. Desse modo, durante uma tempestade, na medida em que as cargas vão se acumulando, a diferença de potencial entre a nuvem e o solo vai aumentando, até se chegar ao limiar do campo elétrico disruptivo.

Nesse momento, o ar se ioniza, tornando-se um condutor, e acontece a descarga elétrica da nuvem para o chão, conforme mostra a **Figura 8b**. Esse fenômeno é bastante complexo: inicialmente acontece uma descarga piloto negativa da nuvem para o chão, por meio de saltos sucessivos de dezenas de metros, seguida de uma descarga guia, enquanto acontece uma descarga piloto (descarga de retorno) ascendente, de cargas positivas, que se encontra com a descarga guia.

Figura 08 - Formação de um raio: a) acumulação de cargas na nuvem e indução de cargas no solo; b) descarga atmosférica.



Fonte: Autoria Própria (2014).

Posteriormente, ocorre a descarga principal, da nuvem para o solo, seguida de descargas reflexas. Essas descargas ocorrem com uma velocidade de várias dezenas de quilômetros por segundo e as suas passagens ionizam o ar em seu entorno. Os átomos ionizados, ao encontrar as cargas ascendentes e descendentes, recompõem-se, emitindo luz nesse processo, que é a fulguração do relampejo que vemos quando ocorre o raio.

Como ocorrem descargas reflexas sucessivas em frações de segundo, temos a impressão de ver o raio tremer. A descarga do raio dissipa uma energia colossal em sua passagem, o que produz um calor elevadíssimo, o qual faz com que o envoltório de ar ao redor da descarga se dilate quase que instantaneamente. Desse modo, essa dilatação brusca produz uma onda sonora de alta potência que percebemos na forma do som característico, o trovão, que ouvimos após o raio. Como a luz se propaga a cerca de 300.000 km/s e o som se propaga bem mais lentamente, a cerca de 340 m/s, primeiro percebemos a fulguração do raio e, dependendo de quão distante estivermos, depois de poucos segundos, ouvimos o trovão.

Atividade 07

1. E agora, sobre aquela velha pergunta: o que vem primeiro o raio ou o trovão? Como você responderia, eloquentemente, a essa pergunta?

Algumas Perguntas

Você talvez já tenha ouvido falar no ditado popular: “Um raio não cai duas vezes no mesmo lugar”. Será que isso é verdade? Onde cai um raio? Talvez você também já tenha ouvido a recomendação de, durante uma tempestade elétrica, nunca procurar abrigo embaixo de uma árvore. Há algum fundamento nisso? A resposta para essas perguntas passa pelo conhecimento do fenômeno conhecido como **poder das pontas**.

O poder das pontas se caracteriza pela capacidade dos corpos eletrizados se descarregarem pelas pontas. Isso acontece porque, em um corpo eletrizado, as cargas em excesso se distribuem pela sua superfície externa, concentrando-se nas regiões mais pontiagudas, ou seja, nas regiões de menor raio de curvatura.

Assim, geralmente quando um raio cai, ele se dirige para o ponto do terreno em que se situam objetos pontiagudos, como árvores, pontas de guarda-chuvas, postes e outros, em que as cargas estão mais concentradas, e ao redor dos quais o ar se encontra ionizado, tornando mais fácil o fluxo da descarga do raio.

O raio sempre procura o caminho mais fácil. Desse modo, durante uma tempestade, realmente não é bom procurar abrigo sob uma árvore, pois, se ela é o objeto mais “pontudo” nas redondezas, é provável que o raio caia sobre ela. De acordo com esse raciocínio, construções elevadas, tais como arranha-céus, oferecem mais probabilidade de atrair raios do que prédios vizinhos de menor altura e geralmente são atingidos não por um, mas por vários raios ao longo do tempo. De fato, há relatos sobre altos edifícios que foram atingidos por dezenas de raios em um único dia de tempestade. Se não acredita em mim, assista, por exemplo, ao vídeo contido no endereço a seguir.

<<http://www.youtube.com/watch?v=EyZIXSeD0xk>>. Acesso em: 4 set. 2014.

A **Figura 9** mostra a ação de raios sobre estruturas artificiais. Na figura, fica evidente o poder de atração de raios que têm essas estruturas que se impõem como as mais altas na paisagem ao seu redor.

Figura 09 - Imagens de raios atingindo: a) o Cristo Redentor; b) a Torre Eiffel; c) o Empire State Building.



Fonte: (a) <<http://www.brasilecola.com/upload/conteudo/images/raio-atingindo-cristo-redentor-1306170477.jpg>>

(b) <<http://2.bp.blogspot.com/--Sc6B6iTm3A/TmwRTbk6x0I/AAAAAAAAAMwc/sS-j4cGaEhQ/s1600/Bertrand%2BKulik.jpg>>

(c) <<http://www.divshare.com/img/2667866-a58.jpg>> Acesso em: 1 ago. 2014.

A energia envolvida na descarga de um raio é gigantesca. Além de tetos pontudos de prédios e torres de igrejas, postes e linhas de energia elétrica são alvos frequentes dos raios. Portanto, quando a energia de um raio é descarregada em frações de segundos sobre um prédio, ao passar pela sua instalação elétrica ou sua rede telefônica (constituídas por condutores elétricos), elas são submetidas a enormes sobretensões e correntes muito além dos níveis normais para os quais as instalações foram projetadas. Dessa forma, geralmente, danifica seriamente não só a própria instalação, como também os equipamentos a ela conectados, assim como colocando em risco a vida de pessoas que estejam em contato com esses.

É provável que você já tenha ouvido falar para não pegar no telefone em dia de tempestade. Se ouviu, foi muito bem aconselhado. Periodicamente, a imprensa divulga acidentes em que pessoas foram atingidas por descargas fatais enquanto falavam ao telefone em dia de tempestade com raios. Logo, para minimizar os prejuízos materiais e os riscos para os seres humanos causados pelos raios, um equipamento especial para proteção elétrica deve ser utilizado: o **para-raios**.

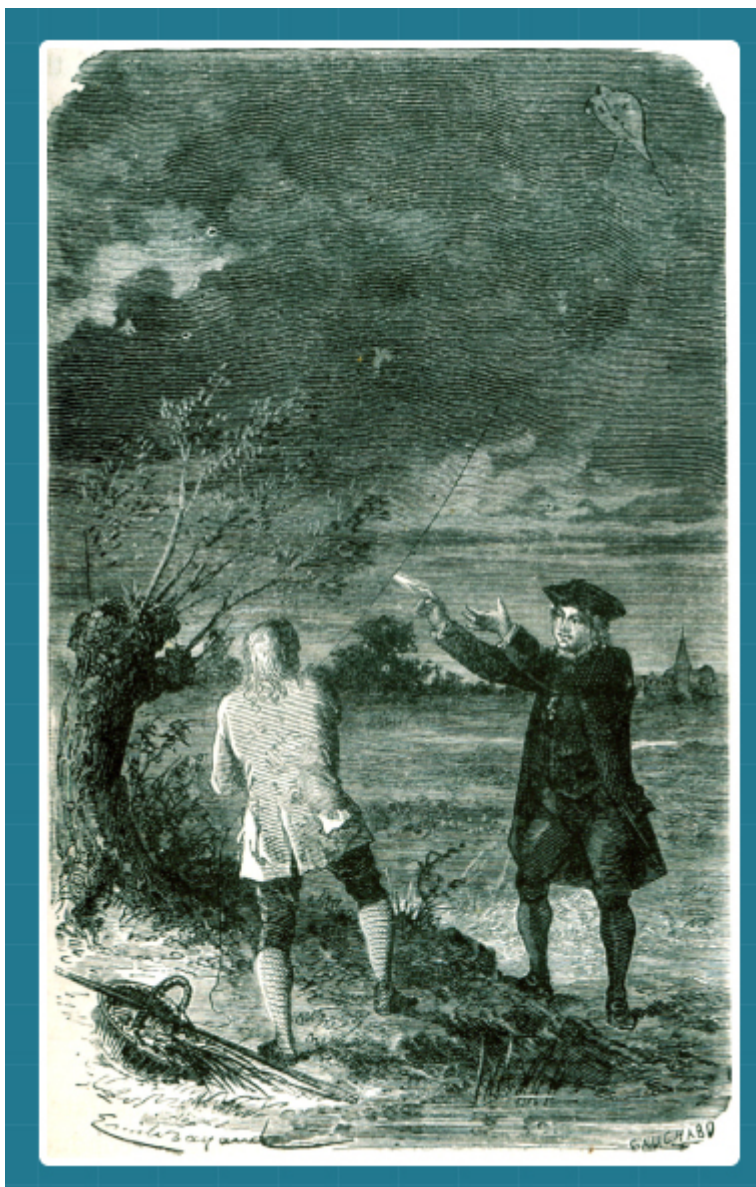
O Para-raios e sua Função Protetora

O para-raios é um sistema de proteção contra descargas elétricas atmosféricas (SPDA) cuja função é atrair os raios para si, desviando-os de pessoas, prédios e objetos sob sua área de proteção, de modo a conduzi-los à terra de forma controlada e segura, sem oferecer risco às pessoas e evitando possíveis danos materiais.

Você Sabia?

O para-raios foi inventado por Benjamin Franklin (já lhe foi falado sobre ele na primeira aula sobre **Noções de Eletricidade**). Reza a lenda que, para testar as suas teorias sobre eletricidade atmosférica e provar que o raio era de fato um fenômeno de natureza elétrica, ele teria empinado uma pipa com uma chave de metal pendurada nela, durante uma tempestade. Será? Bom, sabemos que ele escapou de morrer atingido por um raio! A **Figura 10** ilustra o famoso experimento de Franklin e sua pipa voadora.

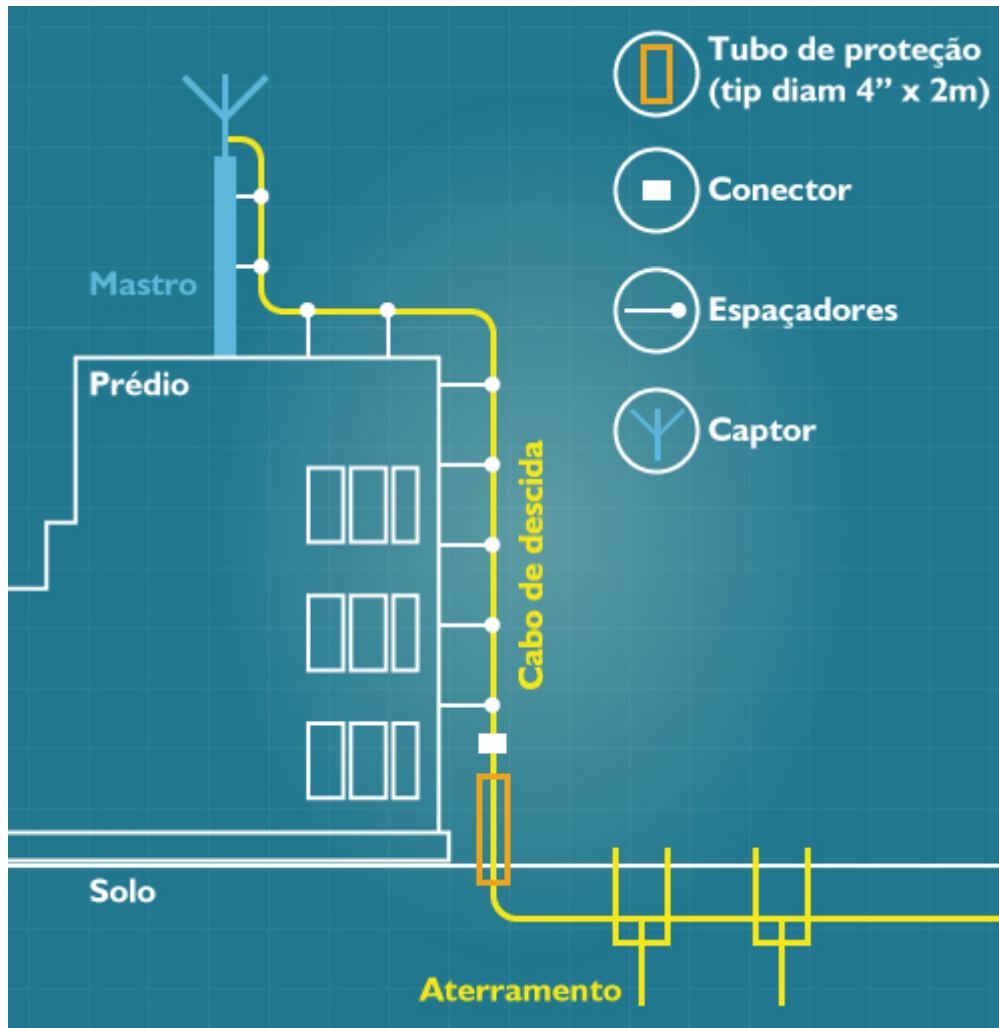
Figura 10 - O experimento de Benjamin Franklin.



Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/Franklin_lightning_engraving.jpg>
Acesso em: 20 out. 2011.

Um para-raios é constituído por três partes principais: o sistema responsável pela captação do raio, o sistema responsável pela condução do raio à terra e o sistema de aterramento, responsável por dissipar a energia do raio no solo. A seguir, a **Figura 11** mostra uma instalação típica de para-raios.

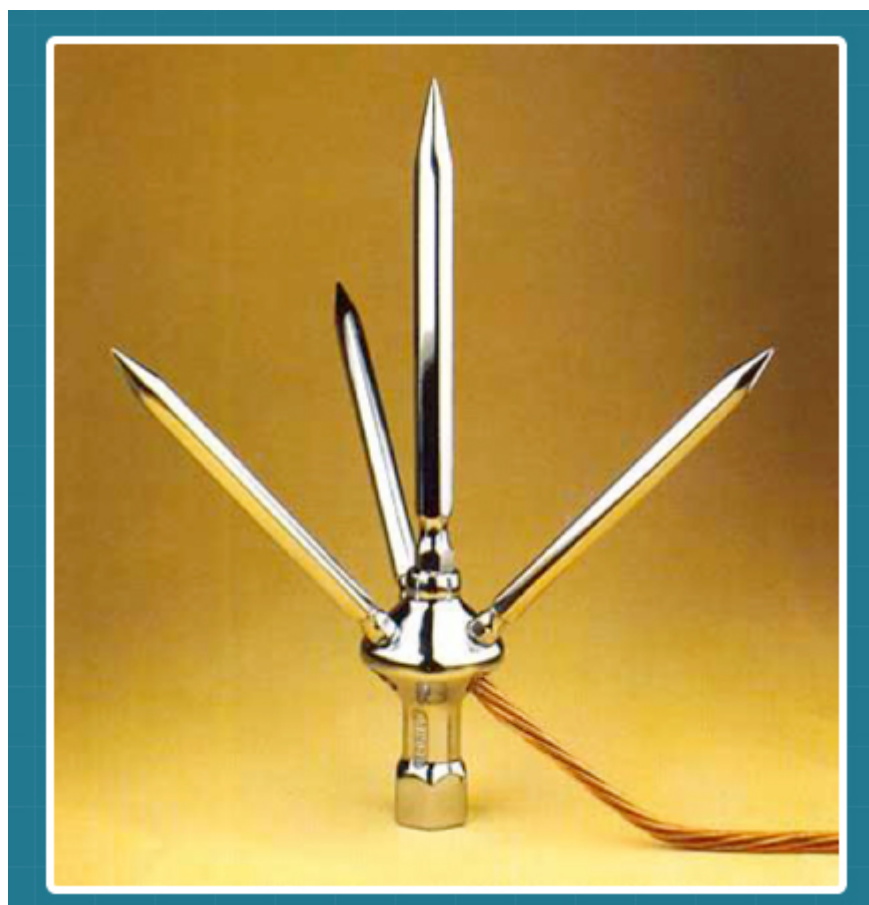
Figura 11 - Partes de um para-raios.



Fonte: <http://www.mspc.eng.br/tecdiv/im02/para_raios_20.png> Acesso em: 20 out. 2011.

O sistema de captação do raio é constituído por um ou mais elementos captadores sustentados por um mastro ou haste metálica. Em um para-raios comum, também denominado **para-raios Franklin**, em homenagem ao seu inventor, o elemento captador utiliza o princípio do poder das pontas para atrair o raio, assim, trata-se simplesmente de um condutor metálico com uma ou mais pontas (nesse caso, um buquê, como o mostrado na **Figura 12**).

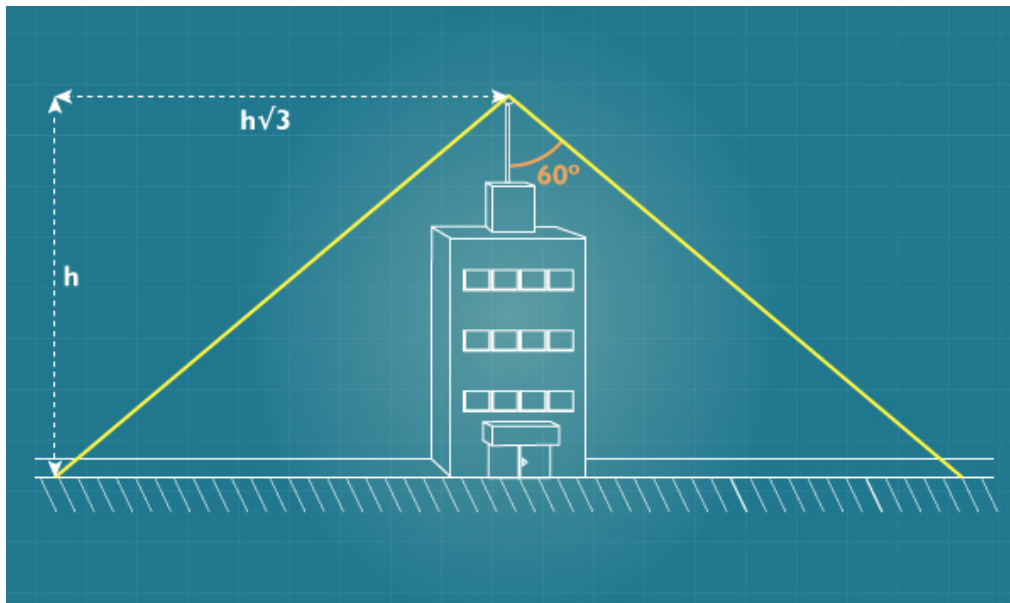
Figura 12 - Elementos captadores de para-raios tipo Franklin.



Fonte: <http://files.cmr303.webnode.com.br/200000002-96da197d2d/190C2E_1.jpg> Acesso em: 1 ago. 2014.

Um para-raios tipo Franklin cria uma região de proteção no seu entorno na forma de um cone com vértice no elemento captor e cuja geratriz forma um ângulo de 60° com a vertical, conforme mostrado na **Figura 13**. A partir desta figura, podemos concluir que para termos uma boa cobertura protegida, o para-raios deve ser instalado o mais alto possível, o que pode demandar a instalação de uma torre.

Figura 13 - Cone de proteção de um para-raios comum.

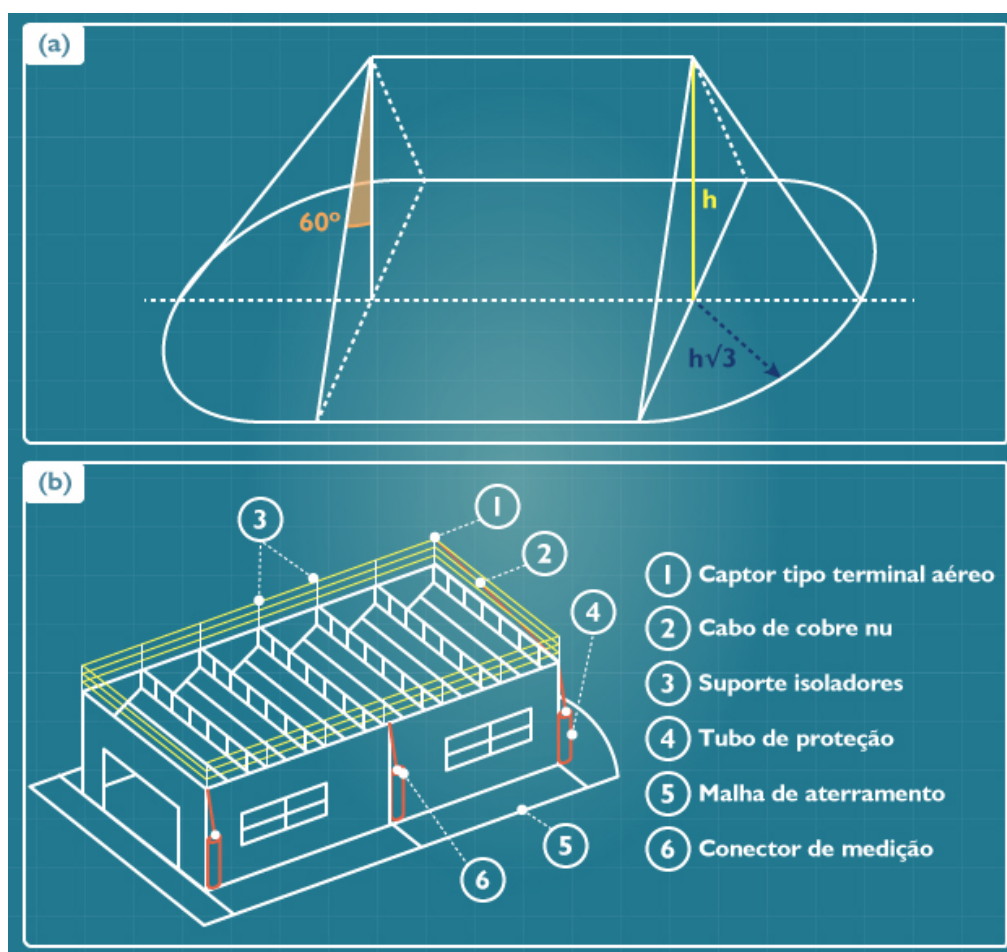


Fonte: Autoria Própria (2014).

Quando não é economicamente viável, ou mesmo não é possível por razões práticas instalar uma torre, uma alternativa é utilizar outro tipo de elemento captor: o fio captor, também chamado de **gaiola de Faraday**. Trata-se basicamente de um fio condutor horizontal, o qual pode incluir dois captores tipo Franklin nas suas extremidades.

Para aumentar a área de cobertura, vários fios captadores podem ser interligados, de forma a implementar a gaiola de Faraday sobre construções que ocupam uma grande área horizontal. Nesse sistema devem ser utilizados vários cabos de descida, com seus respectivos aterramentos. A **Figura 14a** mostra o campo de proteção gerado por um fio captador e a **Figura 14b** mostra a gaiola de Faraday.

Figura 14 - Fio captor: a) campo de proteção gerado por um fio captor de comprimento L a uma altura h; b) gaiola de Faraday.



Fonte: (a) Autoria Própria (2014); (b) <http://www.fazfacil.com.br/images/elet_captorraio-2.jpg>. Acesso em: 21 out. 2011

O sistema de aterramento do para-raios é constituído por um ou mais eletrodos de aterramento de cobre, devidamente enterrados, cuja função é dissipar no terreno a descarga do raio. Assim, o tipo de eletrodo, suas dimensões e a quantidade deles, a ser utilizados depende das características de resistividade do solo. Logo, se a resistividade do solo for suficientemente baixa, a colocação de um único eletrodo é suficiente. Caso a resistência de aterramento não fique abaixo do valor desejado, deve-se aumentar o número de eletrodos até alcançar o limite especificado para a resistência de aterramento. Em geral, costuma-se colocar três eletrodos. Portanto, a resistência de aterramento deve ser inferior a 10 Ohms. Para edificações com materiais inflamáveis ou com risco de explosão, a resistência de aterramento deve ser restrita a valores inferiores a 1 Ohm.

A distância mínima entre os eletrodos de aterramento é de 3 m e eles devem ser afastados das fundações da edificação por, no mínimo, 50 cm. Os eletrodos de aterramento devem ser instalados preferencialmente em solo úmido, se possível, junto ao lençol freático, mas tendo a precaução de evitar áreas com substâncias corrosivas. Por isso, é proibida a instalação de eletrodos de aterramento em poços de água ou fossas sépticas. Também não se permite a sua instalação sob concreto, argamassa ou revestimento asfáltico. Já em solo seco, rochoso, calcário ou arenoso, no qual for difícil obter resistência de aterramento inferior a 10 Ohms, deve-se distribuir um maior número de eletrodos formando uma malha, interligada por condutores circundando a edificação.

Resumo

Nesta aula, você teve informações sobre um sistema de aterramento elétrico e suas funções de proteção. Aprendeu a diferenciar os conceitos de terra, neutro e massa, bem como viu alguns tipos de aterramento e dispositivos usados na proteção de circuitos de instalações elétricas prediais. Nesse contexto, deve ter compreendido e tomado consciência sobre a necessidade de um bom aterramento para garantir a proteção das instalações elétricas, dos equipamentos e das pessoas. Você teve informações adicionais sobre o sistema de aterramento elétrico e suas funções de proteção sob a presença de descargas atmosféricas. Você também aprendeu a natureza dos raios, como se formam e o perigo que representam para as pessoas, entendendo a necessidade de estabelecer mecanismos de proteção contra descargas atmosféricas. Nesse contexto, aprendeu o funcionamento do para-raios, qual é a sua área de cobertura e os principais fatores que influenciam no seu dimensionamento. Espero que tenha gostado desta nossa última aula e tirado bom proveito dela e do curso de forma geral. Boa sorte a todos!

Autoavaliação

1. Conceitue potencial de referência, terra, neutro e massa.
2. Qual é a importância do aterramento para a proteção das pessoas e equipamentos elétricos?
3. Descreva os principais sistemas de aterramento elétrico.
4. Conceitue resistência de aterramento. Por que a resistência de aterramento deve ser a menor possível?
5. Quais os tipos possíveis de aterramentos usados em instalações elétricas residenciais? Qual o mais aconselhável? Por quê?
6. Explique como são criados os raios.
7. Descreva um para-raios tipo Franklin, enumerando as funções dos seus principais elementos.

8. Por que a resistência de aterramento do para-raios deve ser a menor possível?
9. Quais as recomendações para a resistência de terra no caso de proteção às descargas atmosféricas?
10. Descreva o cone de proteção de para-raios tipo Franklin. Se esse tipo de para-raios deve proteger um prédio de 10 m de altura e área coberta retangular de 20 m x 10 m, qual é a altura da torre sobre a qual deve ser instalado o para-raios para garantir proteção total contra raios?

Referências

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 15. ed. São Paulo: LTC, 2007.

LIMA, Flávia. Frutos da necessidade. **Coleção Elétrica**, São Paulo, v. 3, p. 12-17, [20--?]. Disponível em: <http://www.instalacoeseltricas.com/download/colecao_eletrica3.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2014.

COLEÇÃO ELÉTRICA. As histórias e as personagens do mundo das **Instalações Elétricas**. In: LIMA, Flávia. **A origem e a difusão dos fusíveis e dos disjuntores, dispositivos de proteção fundamentais às instalações elétricas em todos os níveis de tensão**. São Paulo, v. 3, p. 12-17, [20--]. Disponível em: <http://www.instalacoeseltricas.com/download/colecao_eletrica3.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2014.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. São Paulo: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2010.

MORENO, H. **Instalações elétricas residenciais**. [S.l.]: Elektro/Pirelli, 2003.

NEGRISOLI, M. E. M. **Instalações Elétricas: projetos prediais em baixa tensão**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1982.

NISKIER, J.; MACINTYRE, J. A. **Instalações Elétricas**. São Paulo: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1992.