

# ATERRAMENTO ELÉTRICO



**PROCOBRE**

# ÍNDICE

<b>1. O</b> que é um aterramento elétrico?	<b>2</b>
<b>2. Os</b> objetivos do aterramento do sistema	<b>3</b>
<b>3. Por</b> que deve-se preferir os sistemas aterrados?	<b>3</b>
<b>4. Funções</b> básicas dos sistemas de aterramento	<b>4</b>
<b>5. Alguns</b> conceitos importantes sobre aterramento	<b>6</b>
<b>6. Ligação</b> à terra	<b>9</b>
<b>7. Eletrodos</b> de aterramento	<b>11</b>
<b>8. Aterramento</b> e corrosão	<b>13</b>
<b>9. O</b> aterramento e os diversos sistemas de proteção	<b>15</b>
<b>10. O</b> aterramento único das instalações elétricas	<b>36</b>
<b>11. Bibliografia</b>	<b>39</b>

# 1. O que é um aterramento elétrico?

O termo aterramento se refere à terra propriamente dita ou a uma grande massa que se utiliza em seu lugar. Quando falamos que algo está "aterrado", queremos dizer então que, pelo menos, um de seus elementos está propositalmente ligado à terra.

Em geral, os sistemas elétricos não precisam estar ligados à terra para funcionarem e, de fato, nem todos os sistemas elétricos são aterrados. Mas, nos sistemas elétricos, quando designamos as tensões, geralmente, elas são referidas à terra. Dessa forma, a terra representa um ponto de referência (ou um ponto de potencial zero) ao qual todas as outras tensões são referidas. De fato, como um equipamento computadorizado se comunica com outros equipamentos, uma tensão de referência "zero" é crítica para a sua operação apropriada.

A terra, portanto, é uma boa escolha como ponto de referência zero, uma vez que ela nos circunda em todos os lugares. Quando alguém está de pé em contato com a terra, seu corpo está aproximadamente no potencial da terra. Se a estrutura metálica de uma edificação está aterrada, então todos os seus componentes metálicos estão aproximadamente no potencial de terra.

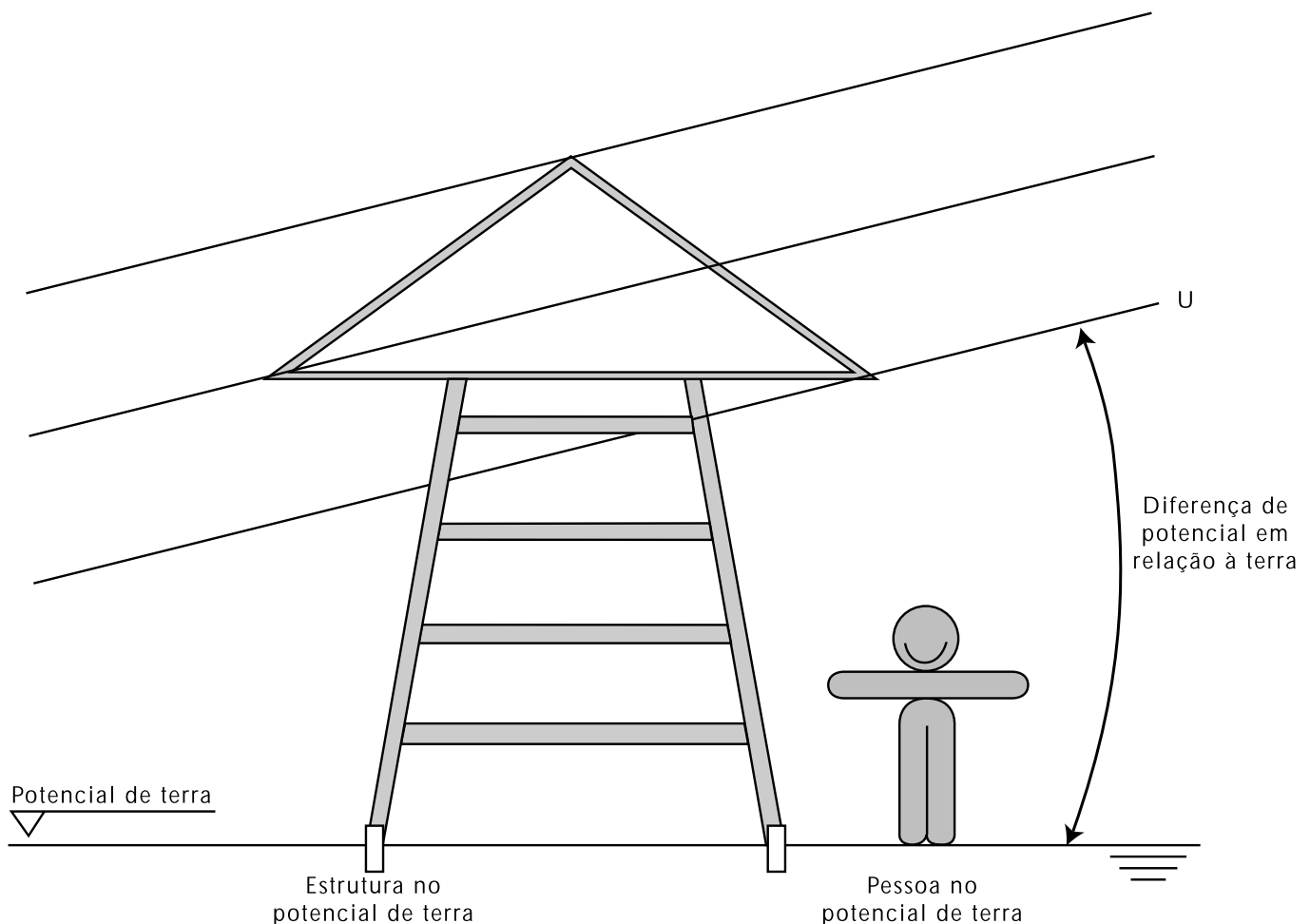


Figura 1

## 2. Os objetivos do aterramento do sistema

Aterrar o sistema, ou seja, ligar intencionalmente um condutor fase ou, o que é mais comum, o neutro à terra, tem por objetivo controlar a tensão em relação à terra dentro de limites previsíveis. Esse aterramento também fornece um caminho para a circulação de corrente que irá permitir a detecção de uma ligação indesejada entre os condutores vivos e a terra. Isso provocará a operação de dispositivos automáticos que removerão a tensão nesses condutores.

O controle dessas tensões em relação à terra limita o esforço de tensão na isolação dos condutores, diminui as interferências eletromagnéticas e permite a redução dos perigos de choque para as pessoas que poderiam entrar em contato com os condutores vivos.

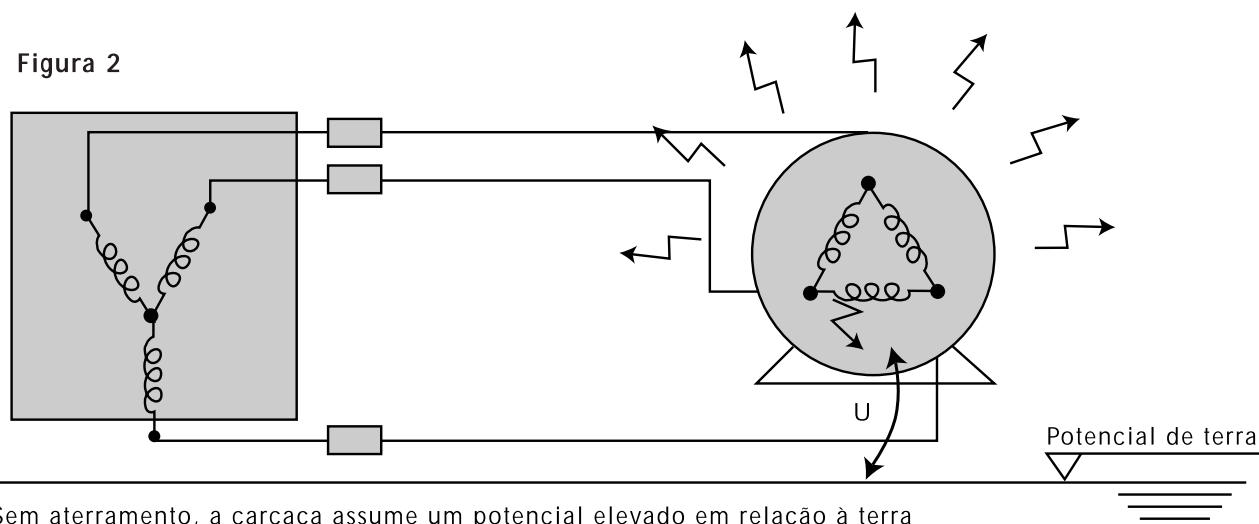
## 3. Por que deve-se preferir os sistemas aterrados?

O primeiro objetivo do aterramento dos sistemas elétricos é proteger as pessoas e o patrimônio contra uma falta (curto-circuito) na instalação. Em termos simples, se uma das três fases de um sistema não aterrado entrar em contato com a terra, intencionalmente ou não, nada acontece. Nenhum disjuntor desliga o circuito, nenhum equipamento pára de funcionar. Os sistemas não aterrados foram muito populares nas instalações industriais na primeira metade do século 20, precisamente porque as cargas acionadas por motores, que eram muito comuns na época, não parariam simplesmente por causa de um curto-circuito fase-terra.

No entanto, uma consequência desse tipo de sistema é que é possível energizar a carcaça metálica de um equipamento com um potencial mais elevado do que o da terra, colocando as pessoas que tocarem o equipamento e um componente aterrado da estrutura simultaneamente, em condições de choque.

O segundo objetivo de um sistema de aterramento é oferecer um caminho seguro, controlado e de baixa impedância em direção à terra para as correntes induzidas por descargas atmosféricas.

Figura 2



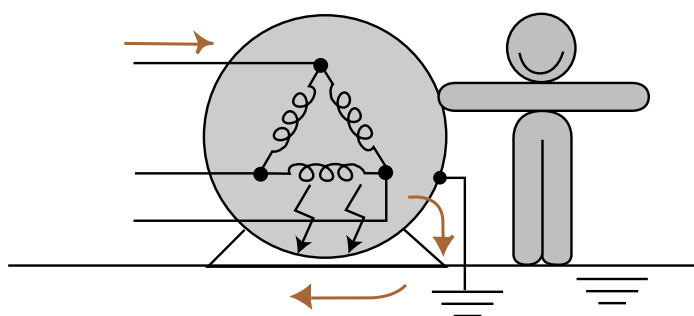
Sem aterramento, a carcaça assume um potencial elevado em relação à terra

## 4. Funções básicas dos sistemas de aterramento

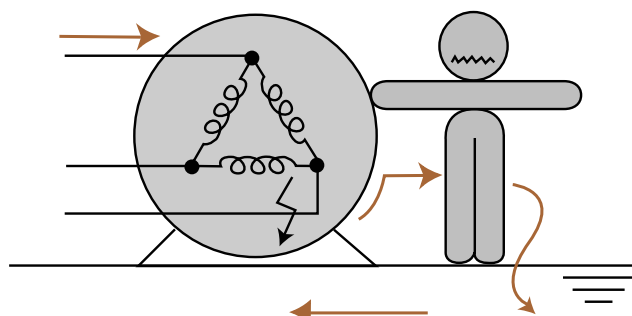
Podemos resumir as funções de um sistema de aterramento nos seguintes tópicos:

### 4.1 - Segurança pessoal

A conexão dos equipamentos elétricos ao sistema de aterramento deve permitir que, caso ocorra uma falha na isolamento dos equipamentos, a corrente de falta passe através do condutor de aterramento ao invés de percorrer o corpo de uma pessoa que eventualmente esteja tocando o equipamento.



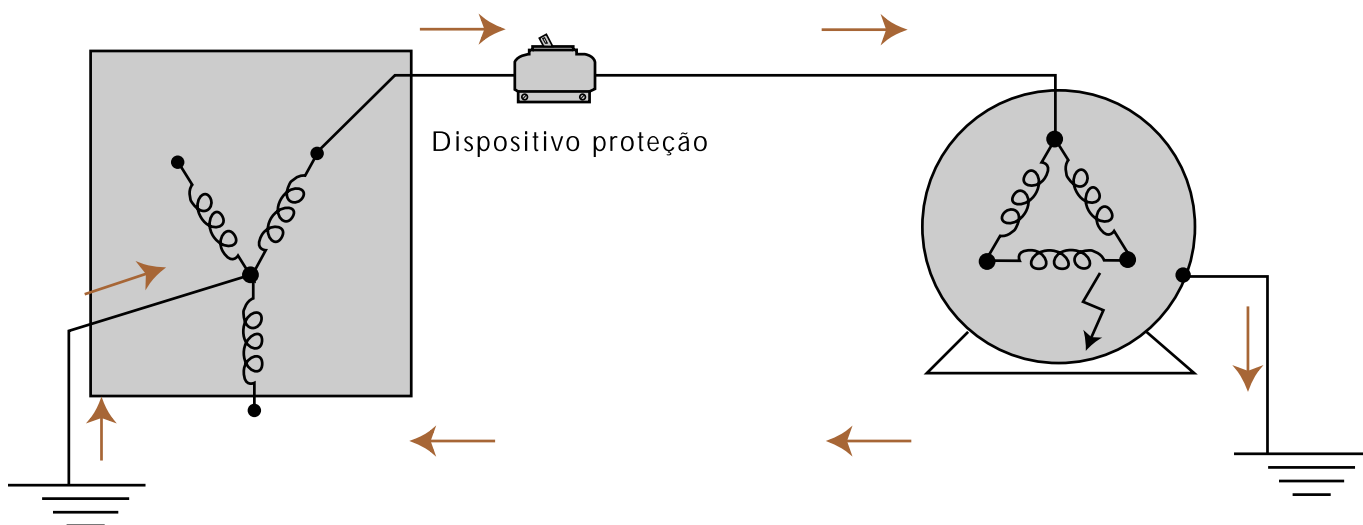
**Figura 3A** - Com aterramento, a corrente praticamente não circula pelo corpo.



**Figura 3B** - Sem aterramento, o único caminho é o corpo.

### 4.2 - Desligamento automático

O sistema de aterramento deve oferecer um percurso de baixa impedância de retorno para a terra da corrente de falta, permitindo, assim, que haja a operação automática, rápida e segura do sistema de proteção.



**Figura 4**

### 4.3 - Controle de tensões

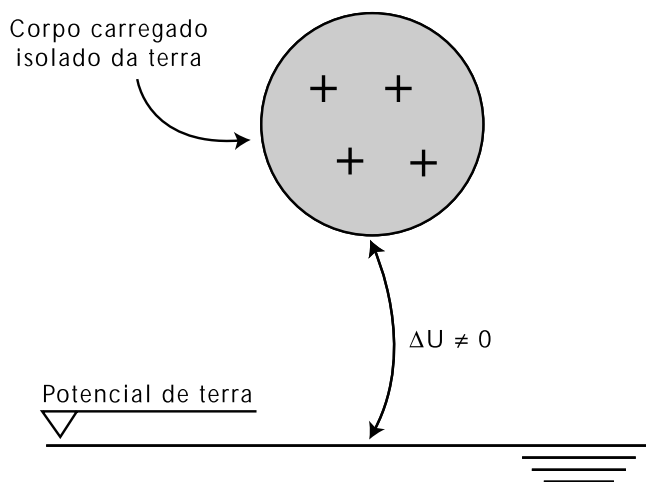
O aterramento permite um controle das tensões desenvolvidas no solo (passo, toque e transferida) quando um curto-circuito fase-terra retorna pela terra para a fonte próxima ou quando da ocorrência de uma descarga atmosférica no local.

### 4.4 - Transitórios

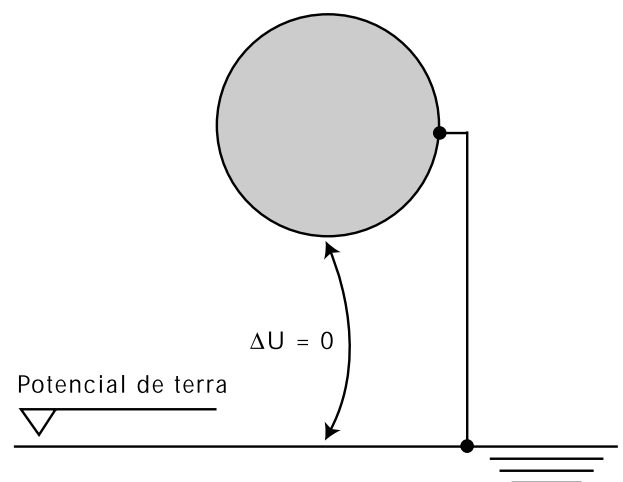
O sistema de aterramento estabiliza a tensão durante transitórios no sistema elétrico provocados por faltas para a terra, chaveamentos, etc, de tal forma que não apareçam sobretensões perigosas durante esses períodos que possam provocar a ruptura da isolação dos equipamentos elétricos.

### 4.5 - Cargas estáticas

O aterramento deve escoar cargas estáticas acumuladas em estruturas, suportes e carcaças dos equipamentos em geral.



**Figura 5A** - Corpo (estruturas, suportes, carcaças, etc.) isolado da terra, com carga acumulada.



**Figura 5B** - Corpo ligado à terra.

## 4.6 - Equipamentos eletrônicos

Especificamente para os sistemas eletrônicos, o aterramento deve fornecer um plano de referência quieto, sem perturbações, de tal modo que eles possam operar satisfatoriamente tanto em altas quanto em baixas frequências.

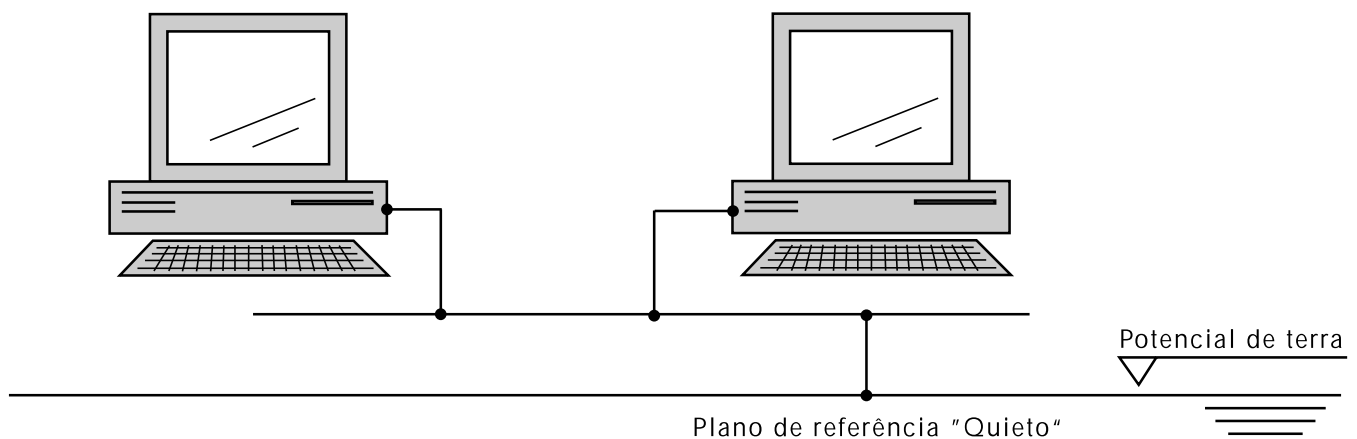


Figura 6

## 5. Alguns conceitos importantes sobre aterramento

### 5.1 - Tensão de contato

É a tensão que pode aparecer acidentalmente, quando da falha de isolamento, entre duas partes simultaneamente acessíveis.

### 5.2 - Tensão de toque

Se uma pessoa toca um equipamento sujeito a uma tensão de contato, pode ser estabelecida uma tensão entre mãos e pés, chamada de tensão de toque.

Em consequência, poderemos ter a passagem de uma corrente elétrica pelo braço, tronco e pernas, cuja duração e intensidade poderão provocar fibrilação cardíaca, queimaduras ou outras lesões graves ao organismo.

### 5.3 - Tensão de passo

Quando uma corrente elétrica é descarregada para o solo, ocorre uma elevação do potencial em torno do eletrodo de aterramento, formando-se um gradiente (distribuição) de queda de tensão, cujo ponto máximo está junto ao eletrodo e o ponto mínimo muito afastado dele. Se uma pessoa estiver em pé em qualquer ponto dentro da região onde há essa distribuição de potencial, entre seus pés haverá uma diferença de potencial, chamada de tensão de passo, a qual é geralmente definida para uma distância entre pés de 1 metro.

Consequentemente, poderá haver a circulação de uma corrente através das duas pernas, geralmente de menor valor do que aquele no caso da tensão de toque, porém ainda assim desagradável e que deve ser evitada.

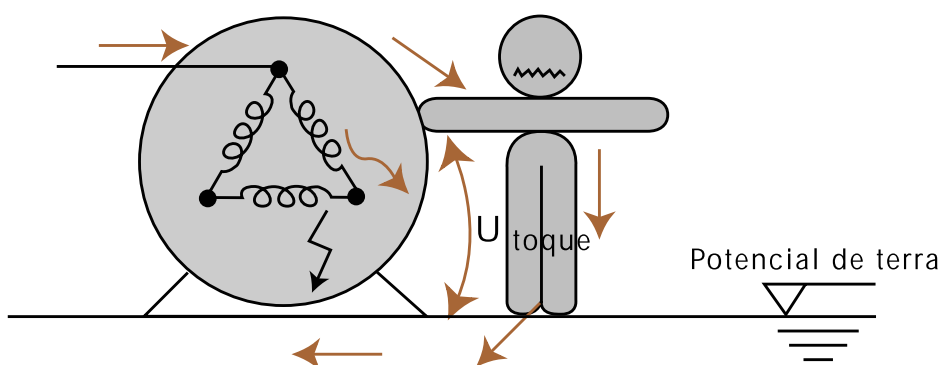


Figura 7A - Tensão de toque.

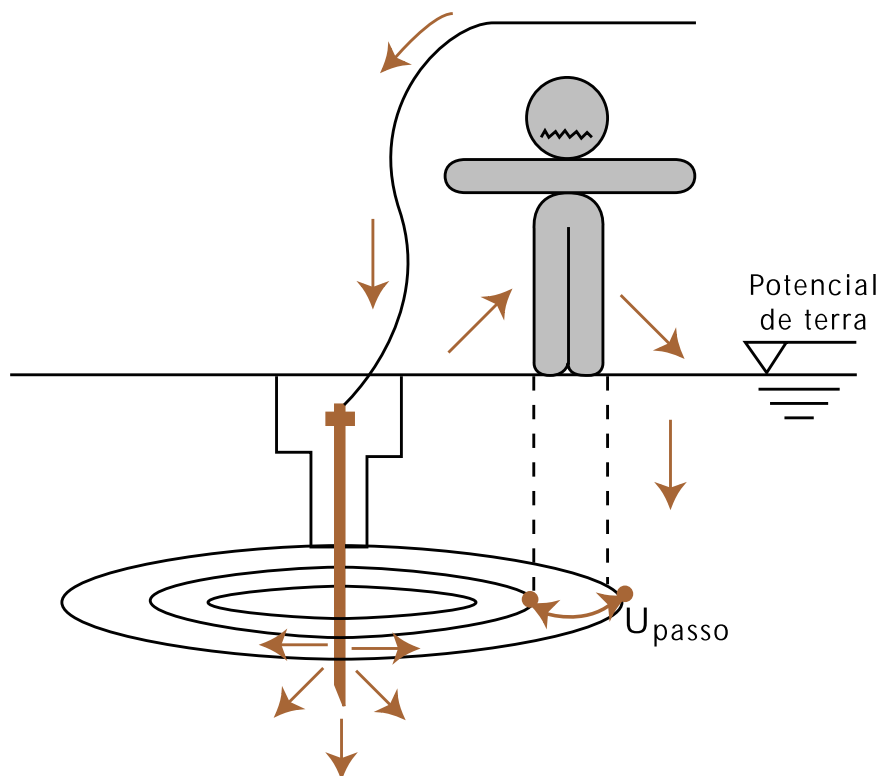


Figura 7B - Tensão de passo.



## 5.4 - Ruído de modo comum

Quando todos os condutores de um sistema de sinal ou de força possuem uma diferença de potencial idêntica em relação a uma referência, essa tensão é chamada de tensão ou sinal de modo comum. Se essa tensão não é desejada, é geralmente chamada de ruído.

Essa referência normalmente é a terra ou a carcaça do equipamento, que podem também estar no mesmo potencial. Os equipamentos eletrônicos freqüentemente apresentam uma sensibilidade aguçada em relação aos ruídos de modo comum entre os condutores de alimentação (força) e a terra, que podem afetar tanto os sinais analógicos como os digitais.

O ruído de modo comum ocorre quando existe uma diferença de potencial entre o terra ao qual a fonte de energia se refere e o terra ao qual o equipamento se refere. Há sempre um acoplamento resistivo ou capacitivo entre os circuitos internos do equipamento e sua carcaça. A diferença de potencial pode ser criada quando circula uma corrente pelo condutor de proteção ou pela terra, entre a carcaça do equipamento e o aterramento da fonte de alimentação.

Pela terra circulam muitas correntes parasitas, causando pequenas diferenças de potencial entre pontos. Essas correntes podem ser de frequências diferentes da industrial (60 Hz) ou, mesmo se forem de frequência industrial, podem conter harmônicas ou transitórios devidos a chaveamentos, manobras e outros fenômenos. Portanto, se a carcaça do equipamento estiver ligada à terra, qualquer potencial que se estabeleça entre essa ligação e o ponto de aterramento do sistema pode ser acoplado no interior do circuito eletrônico.

A carcaça do equipamento pode ser mantida no mesmo potencial do terra do sistema se o condutor de proteção do equipamento for de baixa impedância e não estiver ligado à terra em nenhum ponto, exceto no ponto de aterramento da alimentação, assim chamado de "aterramento de ponto único". A diferença de potencial entre os pontos de aterramento da fonte e do equipamento não deve ser suficiente para causar choques nas pessoas e não deve possibilitar o acoplamento resistivo ou capacitivo em uma intensidade tal que possa criar um ruído indesejado.

A ligação do aterramento do equipamento a um eletrodo que seja física e eletricamente separado dos eletrodos de aterramento do sistema elétrico e da estrutura da edificação provocará, inevitavelmente, um ruído de modo comum. A intensidade desse ruído pode ser destrutiva para o equipamento e perigosa para as pessoas, uma vez que uma falta no sistema elétrico pode elevar o potencial do sistema ou da estrutura centenas ou milhares de volts acima da referência de terra.

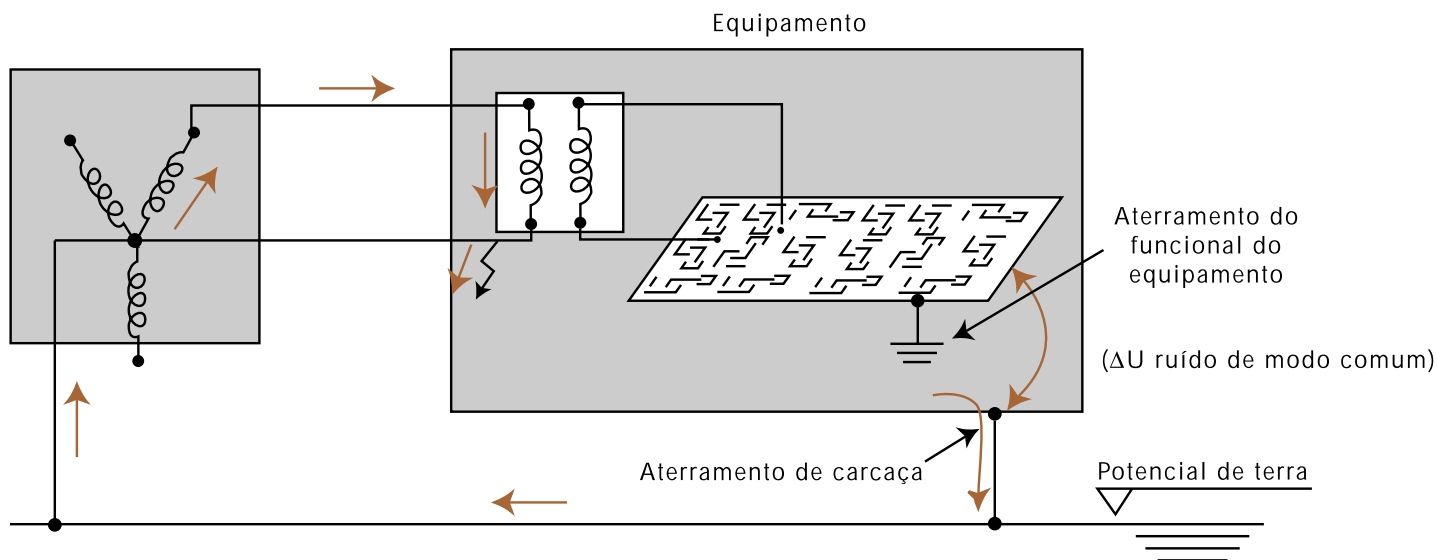


Figura 8

## 5.5 - Potencial transferido

O termo potencial de terra transferido refere-se à tensão em relação à terra que surgirá nos condutores em consequência do eletrodo de aterramento do sistema de alimentação estar acima do potencial de terra normal. As maiores tensões transferidas ocorrem geralmente pelas correntes de falta à retornando à fonte via terra.

Os potenciais de transferência podem ser diminuídos se a resistência (ou impedância) de terra for reduzida ao menor valor possível. A isolação dos equipamentos de baixa tensão em locais onde há potenciais diferentes em relação à terra pode ser obtida pelo emprego de dispositivos que rejeitem tensões de modo comum, como transformadores de separação ou links em fibras ópticas.

## 6. Ligação à terra

O sistema elétrico de uma aeronave em vôo possui um terminal de aterramento, condutores de aterramento, etc., sem, no entanto, haver "terra" no local. Para uma pessoa trabalhando no décimo andar de um edifício que possua a sua estrutura metálica aterrada, qual é o valor do potencial da terra (no nível do solo) não tem o menor significado. Se ela for transportada para o térreo, onde o piso tem contato direto com o solo, então a terra se torna a sua referência mais apropriada para a qual uma tensão de toque ou de passo deve ser referenciada.

Dessa forma, o terra de referência a ser utilizado para expressar as intensidades da tensão pode ser, às vezes, a terra mas, em outros casos, pode ser um condutor metálico de aterramento. Em certas ocasiões, o potencial de terra pode ser muito diferente daquele do condutor de aterramento. Sendo assim, é muito importante que as tensões de toque e passo sejam expressas em relação ao terra de referência mais apropriado.

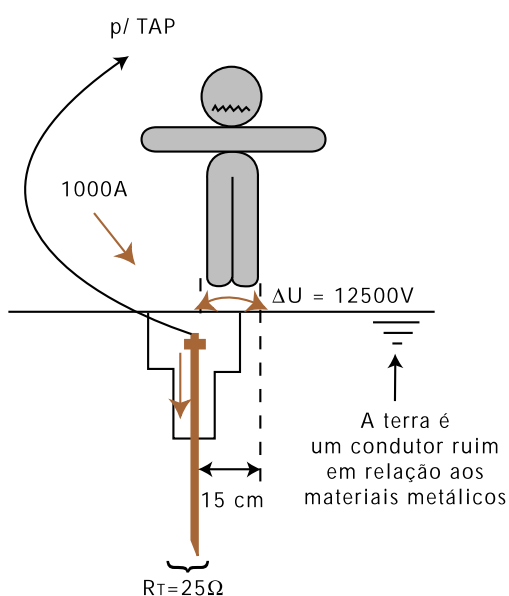
A terra em si é um condutor elétrico muito ruim, cuja resistividade é da ordem de um bilhão de vezes maior do que a de um condutor de cobre. A resistência de aterramento pode ser imaginada como sendo a soma de várias resistências em série, cada uma relativa a uma camada cilíndrica de terra. Na prática, metade da resistência total de aterramento concentra-se na vizinhança imediata (15cm) do eletrodo de aterramento. Imagine uma resistência de aterramento de  $25\Omega$  e uma corrente de 1000A fluindo por ela.

Temos então, entre o ponto de injeção da corrente no solo e 15cm dela uma diferença de potencial de 12500V ( $25\Omega / 2 \times 1000A$ ). Uma pessoa em pé nessa região, estará submetida a essa tensão de passo (figura 9A). A colocação de uma malha metálica aterrada nessa região, à qual estejam ligadas todas as carcaças metálicas, assegurará uma equipotencialidade e afastará a possibilidade da ocorrência de uma tensão de passo (ou de toque) perigosa (figura 9B).

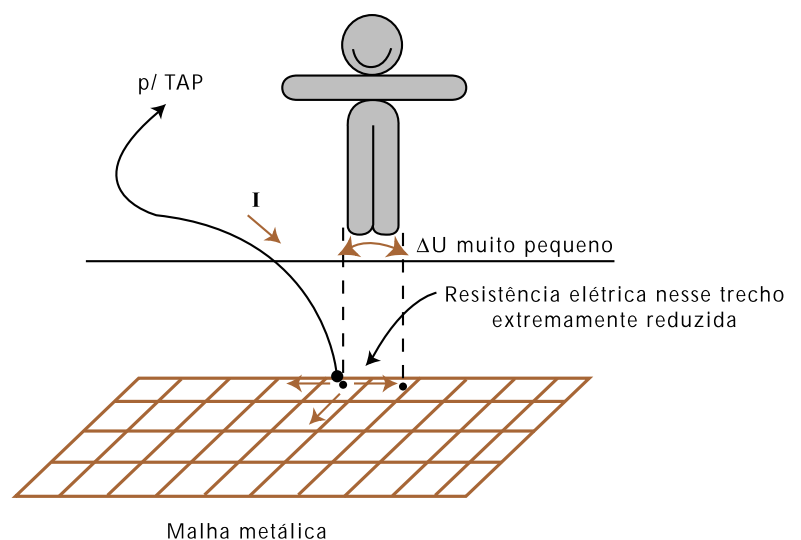
O objetivo mais amplo de um sistema de aterramento é o de se obter, o mais possível, uma condição de diferença de potencial zero (chamada de equipotencialidade) entre os condutores de proteção dos equipamentos, as carcaças dos equipamentos, os condutos metálicos e todas as demais massas condutoras da edificação, incluindo as suas ferragens estruturais e tubulações metálicas. Para qualquer pessoa dentro da edificação, mesmo se houver um aumento do potencial dos elementos mencionados em relação ao potencial de terra, não haverá o risco de choque elétrico, uma vez que todos os elementos estarão referidos ao mesmo potencial.

Os condutores de aterramento devem ser instalados próximos aos condutores vivos dos circuitos e não devem ser percorridos por correntes de carga normais da instalação.

Com isso, eles irão manter a diferença de potencial zero desejada entre os diversos equipamentos. Apenas quando da ocorrência de uma falta é que irá circular uma corrente pelos condutores de aterramento, ocasião em que serão observadas diferenças de potencial no sistema.



**Figura 9A** - Tensão desenvolvida na vizinhança de um eletrodo de aterramento.



**Figura 9B**

## 7. Eletrodos de aterramento

### 7.1 - Tipos de eletrodos

Basicamente, os eletrodos de aterramento podem ser divididos em alguns tipos, a saber:

#### a) Eletrodos existentes (naturais)

Prédios com estruturas metálicas são normalmente fixados por meio de longos parafusos a seus pés nas fundações de concreto. Esses parafusos engastados no concreto servem como eletrodos, enquanto que a estrutura metálica funciona como condutor de aterramento.

Na utilização desse sistema, deve-se assegurar que haja uma perfeita continuidade entre todas as partes metálicas (verifica-se a resistência de aterramento). Também deve ser realizada a ligação equipotencial entre as partes metálicas que, eventualmente, possam estar desconectadas da estrutura principal;

#### b) Eletrodos fabricados

Normalmente são hastes de aterramento. Quando o solo permite, geralmente, é mais satisfatório o uso de poucas hastes profundas do que muitas hastes curtas;

#### c) Eletrodos encapsulados em concreto

O concreto em contato com o solo é um meio semiconductor com resistividade da ordem de  $3000\Omega\text{cm}$  a  $20^\circ\text{C}$ , muito melhor do que o solo propriamente dito.

Dessa forma, a utilização dos próprios ferros da armadura da edificação, colocados no interior do concreto das fundações, representa uma solução pronta e de ótimos resultados.

Qualquer que seja o tipo de fundação, deve-se assegurar a interligação entre os ferros das diversas sapatas, formando assim um anel. Essa interligação pode ser feita com o próprio ferro da estrutura, embutido em concreto ou por meio do uso de cabo cobre.

A resistência de aterramento total obtida com o uso da ferragem da estrutura ligada em anel é muito baixa, geralmente menor do que  $1\Omega$  e, freqüentemente, ao redor de  $0,25\Omega$ .

Observe-se que apenas os ferros da periferia da edificação são efetivos, sendo muito pequena a contribuição da estrutura interna.

#### d) Outros eletrodos

Quando o terreno é muito rochoso ou arenoso, o solo tende a ser muito seco e de alta resistividade.

Caso não seja viável o uso das fundações como eletrodo de aterramento, fitas metálicas ou cabos enterrados são soluções adequadas técnica e economicamente. A profundidade de instalação desses eletrodos, assim como as suas dimensões, influenciam muito pouco na resistência de aterramento final.

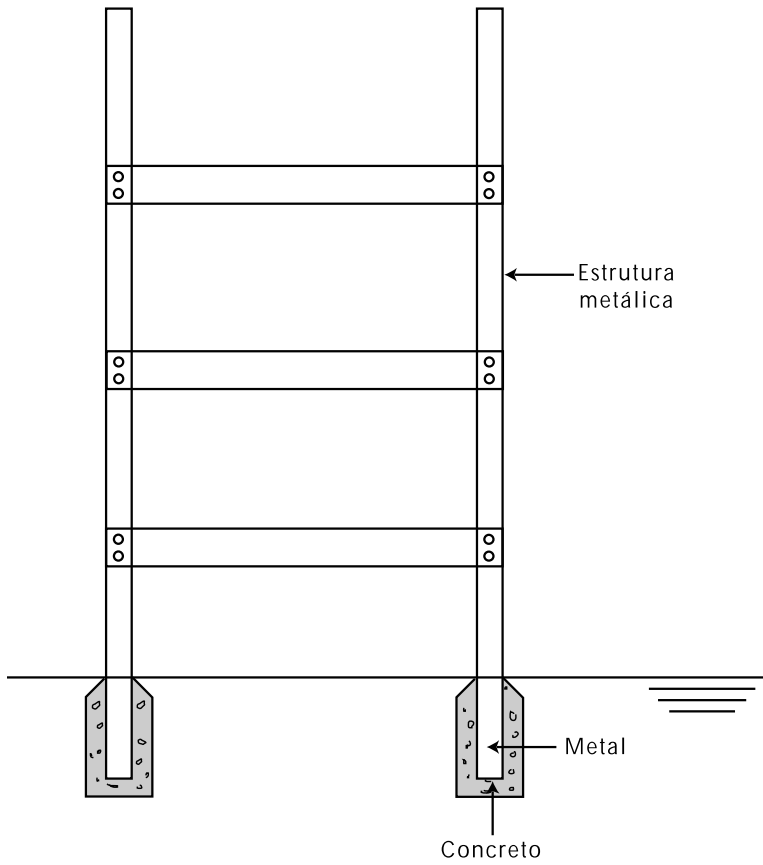


Figura 10A - Eletrodos naturais.

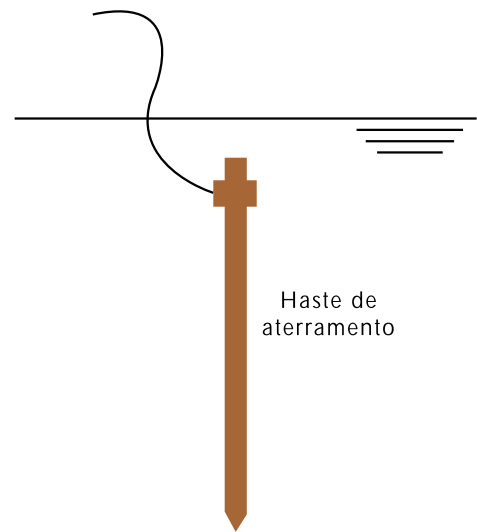


Figura 10B - Eletrodo fabricado.

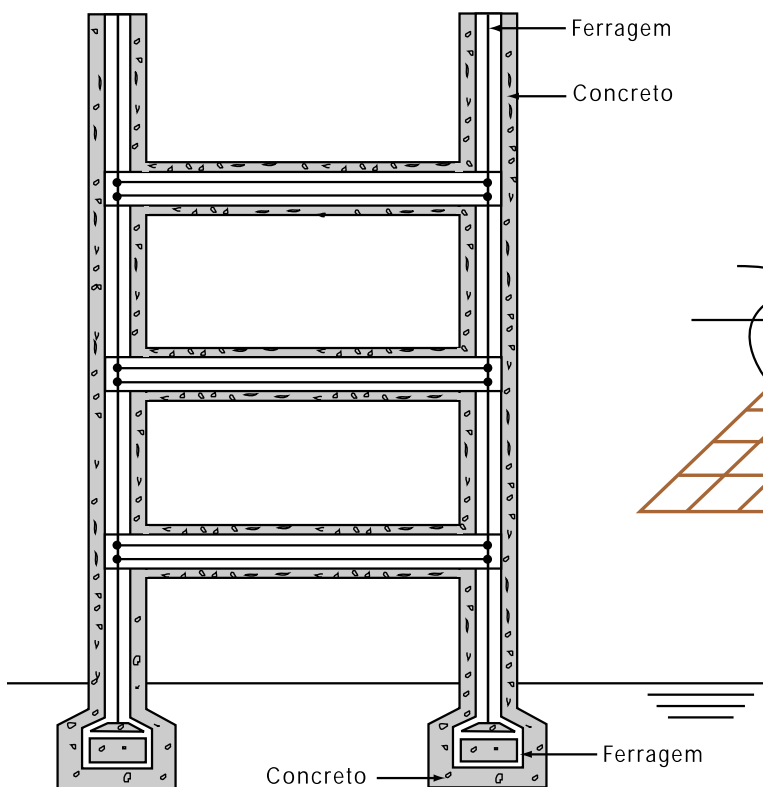


Figura 10C - Eletrodos encapsulados em concreto.

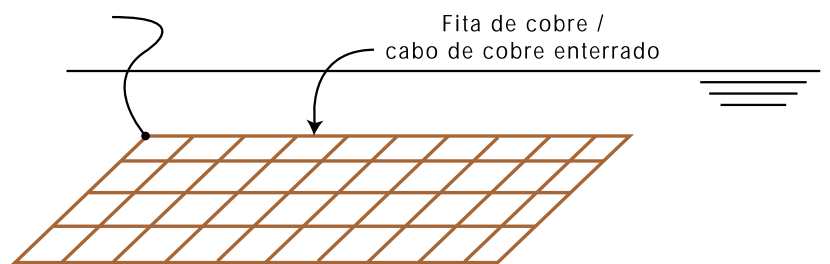


Figura 10D - Outros eletrodos.

## 7.2 - Conexões aos eletrodos

As conexões dos condutores de aterramento aos eletrodos são realizadas genericamente por três sistemas:

### a) Dispositivos mecânicos

São facilmente encontrados, simples de instalar e podem ser desconectados para efeitos de medição de resistência de aterramento. Apresentam um desempenho histórico satisfatório. Apesar de apresentarem, às vezes, problemas de corrosão, se devidamente protegidas, essas conexões podem desempenhar um bom papel. Recomenda-se que tais conexões estejam sempre acessíveis para inspeção e manutenção;

### b) Solda exotérmica

Esse método realiza uma conexão permanente e praticamente elimina a resistência de contato e os problemas de corrosão, sendo ideal para as ligações diretamente no solo. Requer o emprego de mão-de-obra especializada e não pode ser utilizada em locais onde haja a presença de misturas explosivas;

### c) Conexões por compressão

É fácil de instalar, apresenta uma baixa resistência de contato, porém não podem ser desconectados para as medições de resistência de aterramento.

## 8. Aterramento e corrosão

O cobre, usualmente utilizado nos aterramentos, pode apresentar sérios efeitos de corrosão na presença das estruturas de ferro ou aço que estão eletricamente conectadas a ele, conforme indicado na figura 11. O problema é a corrosão galvânica, que acontece quando dois metais diferentes, imersos em um meio apropriado (eletrólito), formam uma pilha. A posição relativa de cada metal na série eletromotiva (tabela 1) determina a diferença de potencial presente entre os dois metais e que é a responsável pela circulação de uma corrente que sai do aço (ânodo), vai para o solo e entra no cobre (cátodo). No caso em questão, o potencial do ferro é + 0,04V e do cobre - 0,34V, o que resulta em uma tensão entre ambos de 0,38V.

A título de ordem de grandeza, uma corrente contínua de 1A, circulando durante um ano, irá corroer 10kg de aço, 11kg de cobre, 35kg de chumbo ou 13kg de zinco!

A diferença de potencial entre dois metais irá influir na intensidade de corrente elétrica que circulará entre ambos. A resistência da terra (que funciona como o eletrólito da pilha) é que limita o fluxo de corrente. Portanto, solos com baixa resistividade podem resultar em altas correntes, propiciando elevada corrosão galvânica.

Os metais com valores positivos na tabela 1 irão ser corroídos (ânodos), enquanto que aqueles com valores negativos estarão protegidos e não apresentarão corrosão (cátodos). Assim, quando ferro e cobre estão próximos, o primeiro sofrerá corrosão.

Deve-se notar que barras de ferros embutidas em concreto (como no caso das fundações das edificações) têm aproximadamente o mesmo potencial que o do cobre, significando que, praticamente, não sofrerão os efeitos de corrosão. O uso da solda exotérmica nas conexões enterradas cobre-ferro (ou aço) também garante a proteção contra corrosão entre os dois metais.

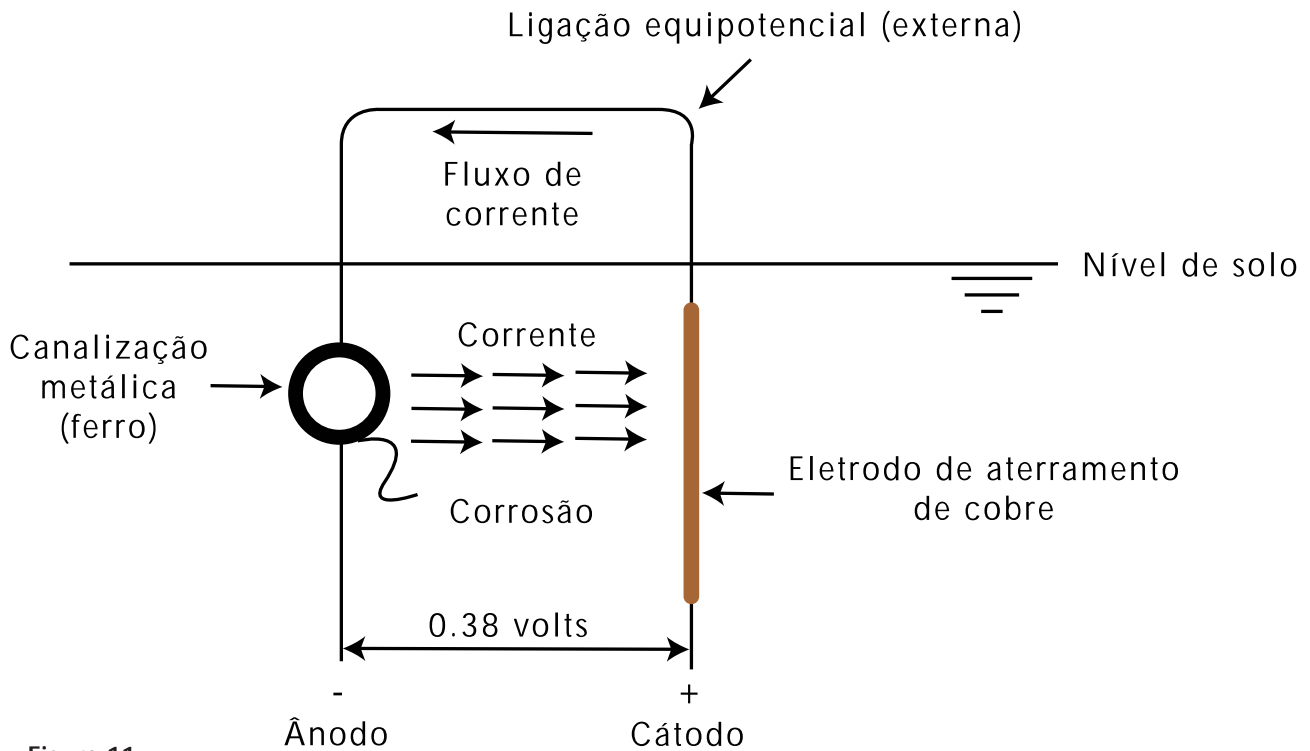


Figura 11

TABELA 1 - SÉRIE ELETROMOTIVA DOS METAIS		
Metal	Potencial (V)	
Bário	2,90	Extremidade Anódica (Básica)
Cálcio	2,87	
Sódio	2,71	
Magnésio	2,40	
Alumínio	1,70	
Zinco	0,76	
Níquel	0,23	
Chumbo	0,12	Extremidade Catódica (Nobre)
Ferro	0,04	
Hidrogênio	0,00	
Bismuto	-0,23	
Cobre	-0,34	
Prata	-0,80	
Mercúrio	-0,80	
Ouro	-1,50	



Vale lembrar que os problemas de corrosão são de considerável importância apenas nos sistemas em corrente contínua, como no caso de transportes (trens, metrô), onde há retornos de correntes pelos trilhos, o que acentua o fenômeno de corrosão.

## 9. O aterramento e os diversos sistemas de proteção

Conforme mencionado no item 4, o aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro de uma instalação elétrica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões, proteção de linhas de sinais e de equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

Normalmente, estuda-se cada proteção mencionada separadamente, o que leva, em alguns casos, a imaginar que tratam-se de sistemas completamente separados de proteção. Isso não é verdade. Para efeito de compreensão, é conveniente separar os casos, porém, na execução dos sistemas, o que existe é um único aterramento.

Dessa forma, veremos a seguir os principais aspectos de cada item e, no final, iremos reuni-los em um só aterramento.

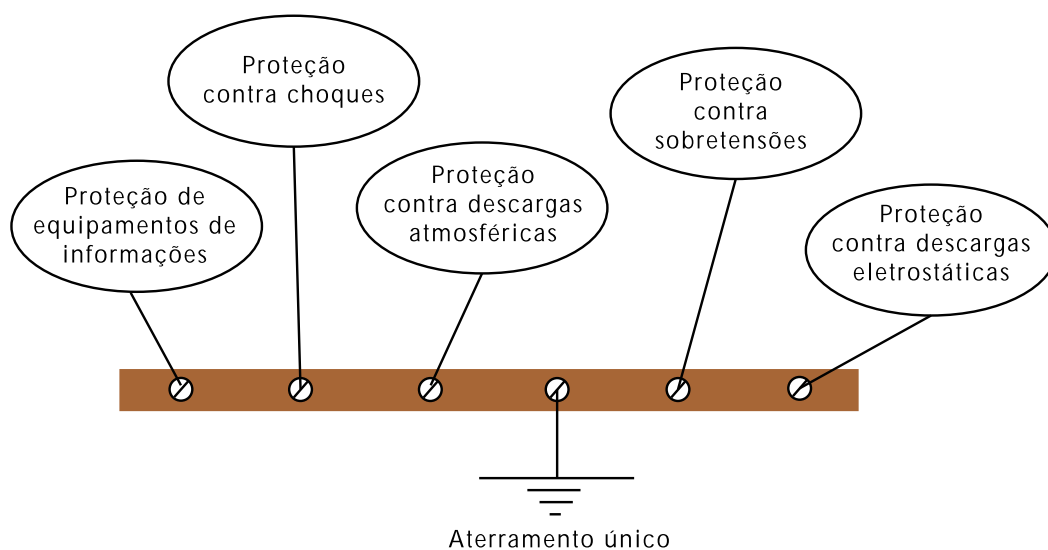


Figura 12

### 9.1 - Proteção contra choques elétricos

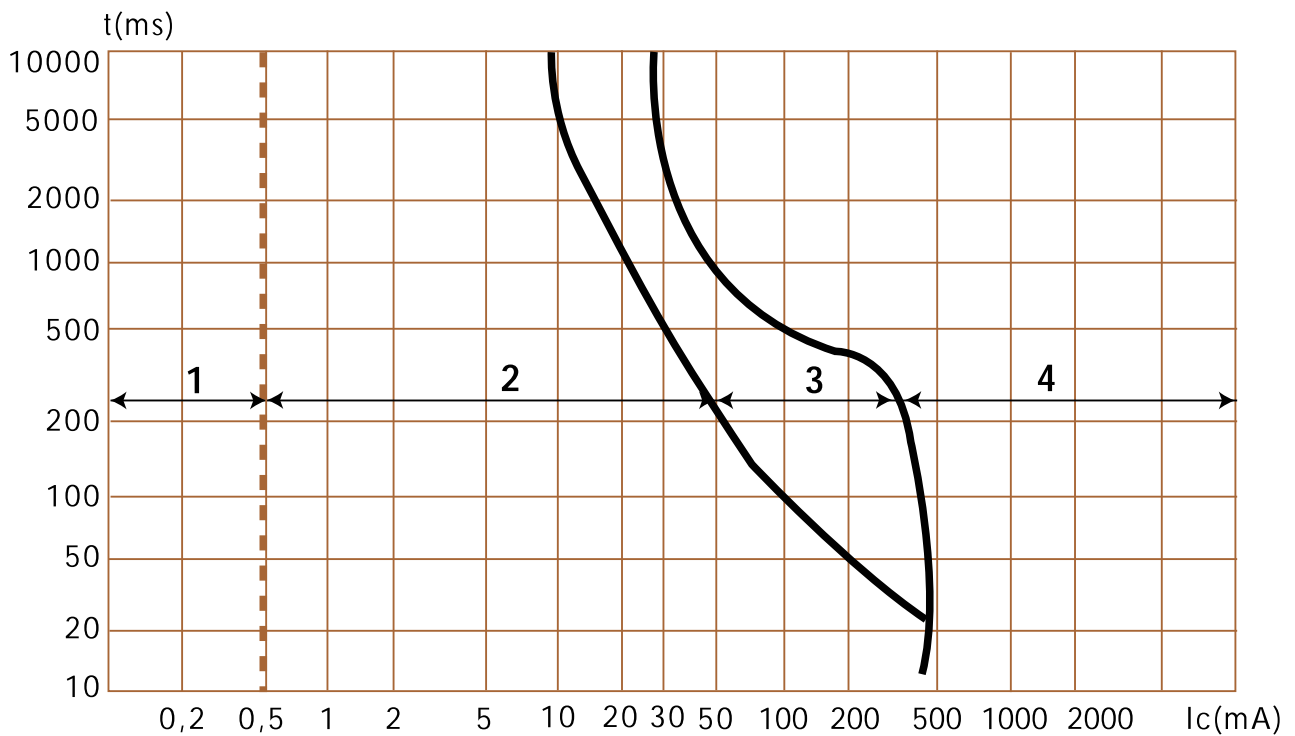
Quando se fala em proteger as pessoas contra choques elétricos, deve-se lembrar que o perigo está presente quando o corpo da pessoa está sendo percorrido por uma corrente elétrica superior a um dado valor por um tempo maior do que o suportável.

Essa dependência corrente-tempo pode ser observada no gráfico 1, obtido a partir de estudos realizados pela IEC.

Como a questão é limitar (ou eliminar) a corrente que atravessa o corpo ou permitir que ela circule apenas durante um tempo determinado, temos que agir sobre essas duas variáveis para enfrentar o problema do choque. Para tanto, há algumas maneiras possíveis de prover essa proteção:



- se a pessoa estiver isolada da fonte, não haverá como circular corrente pelo seu corpo. Ela poderá estar calçando botas e luvas isolantes, porém essa não é uma situação habitual, possível de ser garantida durante muitas horas do dia. Por outro lado, se a pessoa, mesmo descalça e sem luvas, estiver posicionada sobre um piso e junto a paredes isolantes, não haverá caminho de circulação da corrente e ela estará protegida (figura 13). A NBR 5410/97 considera pisos e paredes isolantes quando sua resistência for superior a  $50k\Omega$ . De fato, conforme a figura 14, uma pessoa de resistência mão-pé da ordem de  $1k\Omega$  em série com um piso de  $50k\Omega$ , submetida a uma tensão fase-terra de 127V, será percorrida por uma corrente elétrica de aproximadamente  $127V / 51 k\Omega = 2,5 \text{ mA}$ . Conforme o gráfico 1, esse valor é insuficiente para causar problemas para a pessoa. Infelizmente, a enorme maioria dos pisos e paredes que nos cerca não é isolante ( $R > 50k\Omega$ ), o que limita esse tipo de proteção apenas a lugares especialmente construídos para tal finalidade.



### Legenda

- |   |   |
|---|---|
| 1 - Nenhum efeito perceptível.  | 4 - Elevada probabilidade de efeitos fisiológicos graves e irreversíveis: fibrilação cardíaca, parada respiratória. |
| 2 - Efeitos fisiológicos geralmente não danosos.  |   |
| 3 - Efeitos fisiológicos notáveis (parada cardíaca, parada respiratória, contrações musculares) geralmente reversíveis. |   |

**Gráfico 1** - Zonas tempo-corrente de efeitos de corrente alternada (15 a 100Hz) sobre pessoas

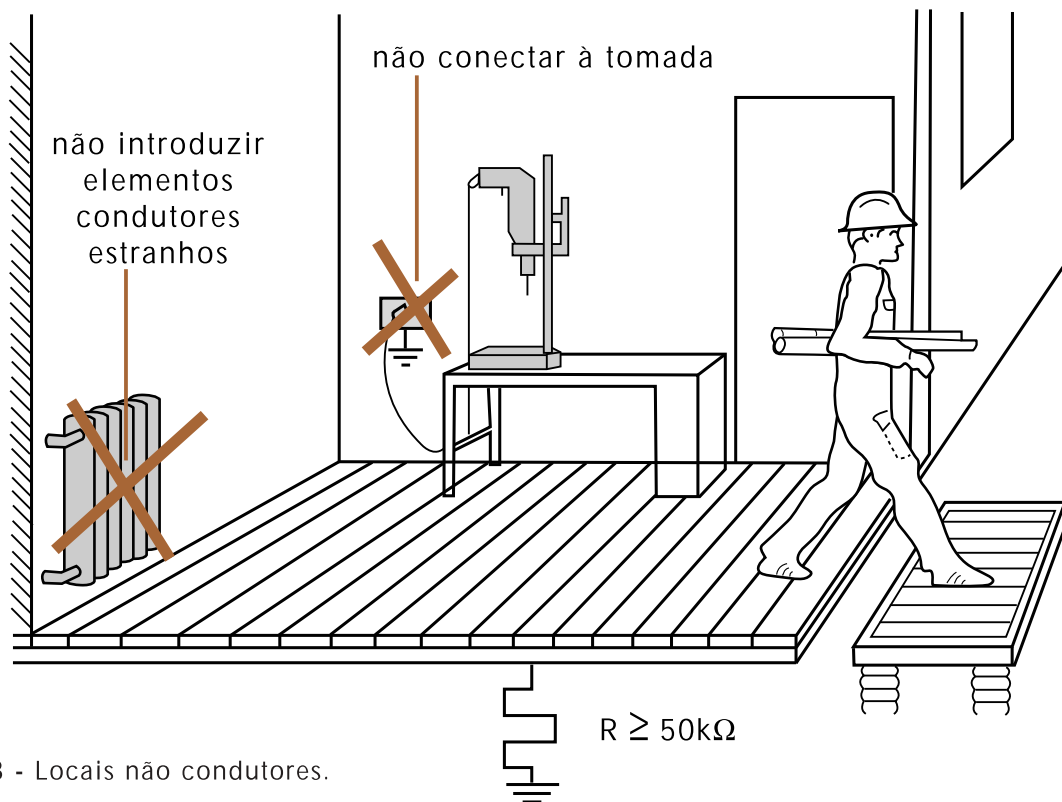


Figura 13 - Locais não condutores.

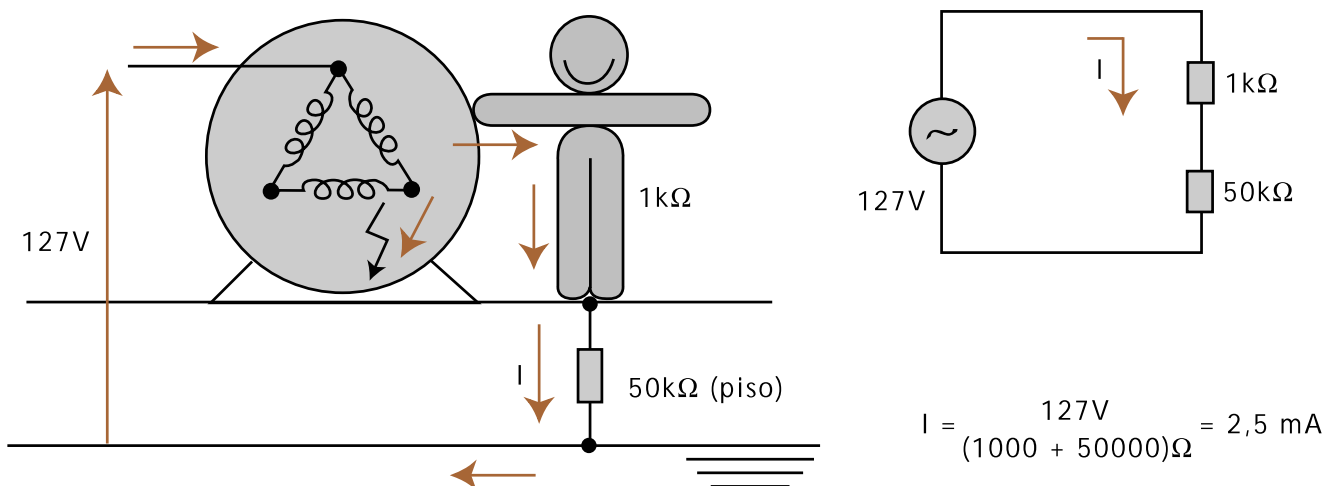


Figura 14

- os mesmos estudos realizados pela IEC concluíram que as pessoas estão livres de choques perigosos se estiverem submetidas a tensões elétricas inferiores a 50V (alternados) ou 120V (contínuos), na situação 1 e 25V (alternados) ou 60V (contínuos), na situação 2.

A situação 1 corresponde a locais "normais" como quartos, salas, cozinhas, lojas, escritórios e na maior parte dos locais industriais. A situação 2 abrange áreas externas, locais molhados (banheiros), campings, etc. Assim sendo, se alimentarmos uma instalação (ou um setor da instalação) com tensões inferiores às mencionadas garantimos a proteção das pessoas contra choques perigosos.

Infelizmente, na prática, poucos aparelhos podem ser alimentados nessas condições, uma vez que o usual é dispormos de tensões de 127, 220, 380 e 440V.

A alimentação em tensões inferiores a 50 e 25V limita-se, geralmente, a aparelhos de iluminação subaquáticos e alguns comandos;

- uma vez que os dois conceitos de proteção anteriores têm restrições práticas de aplicação, o caso mais comum é aquele em que se admite que pode haver a circulação de correntes perigosas e que elas devem ser "desviadas" do corpo humano e desligadas o mais rapidamente possível. Assim sendo, nessas circunstâncias, o conceito básico da proteção das pessoas contra choques elétricos é o de que as massas da instalação devem ser aterradas e que deve haver um dispositivo de seccionamento automático da alimentação quando da presença de correntes (tensões) perigosas para os usuários.

Dependendo da maneira como o sistema é aterrado e qual é o dispositivo de proteção utilizado, os esquemas de aterramento em baixa tensão são classificados pela NBR 5410/97 em três tipos:

- Esquema TT
- Esquema TN
- Esquema IT

### Esquema TT

O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo da fonte (figura 15).

Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa inclui a terra, o que limita em muito o valor da corrente devido ao elevado valor da resistência de terra.

Essa corrente é insuficiente para acionar disjuntores ou fusíveis, mas suficiente para colocar em perigo uma pessoa. Portanto, ela deve ser detectada e eliminada por dispositivos mais sensíveis, geralmente chamados de interruptores diferenciais residuais (DRs).

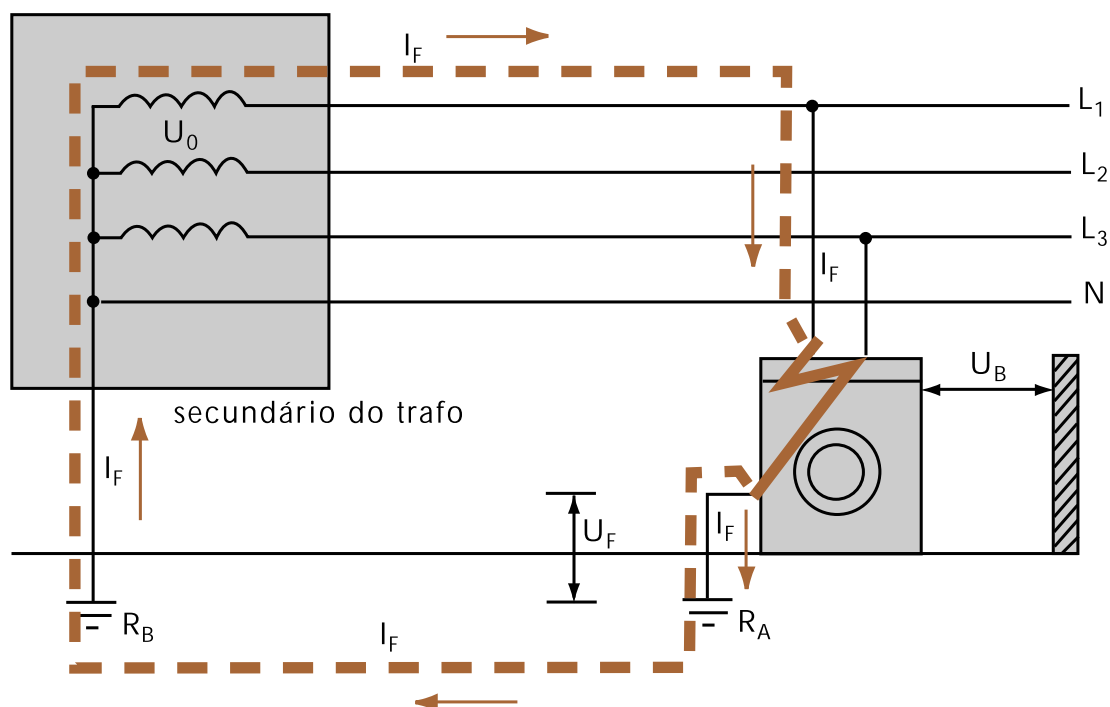


Figura 15

## Esquema TN

O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a esses ponto por meio de condutores metálicos (condutor de proteção), conforme figura 16.

Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa é de baixíssima impedância (cobre) e a corrente pode atingir valores elevados, suficientes para serem detectados e interrompidos por disjuntores ou fusíveis.

O esquema pode ser do tipo TN-S, quando as funções de neutro e proteção forem realizadas por condutores separados ( $N$  = neutro e  $PE$  = proteção), ou TN-C, quando essas funções forem realizadas pelo mesmo condutor (PEN). Há ainda o esquema misto, chamado de TN-C-S.

No Brasil, o esquema TN é o mais comum, quando se tratam de instalações alimentadas diretamente pela rede pública de baixa tensão da concessionária de energia elétrica.

Nesse caso, quase sempre a instalação é do tipo TN-C até a entrada. Aí, o neutro é aterrado por razões funcionais e segue para o interior da instalação separado do condutor de proteção (TN-S). É fácil observar que, caso haja a perda do neutro antes da entrada consumidora (por exemplo, com o rompimento do neutro devido a um acidente com caminhão ou ônibus), o sistema irá se transformar em TT.

Isso nos leva a conclusão de que, mesmo em sistemas TN, é conveniente utilizar dispositivos DR para garantir a proteção das pessoas contra choques elétricos.

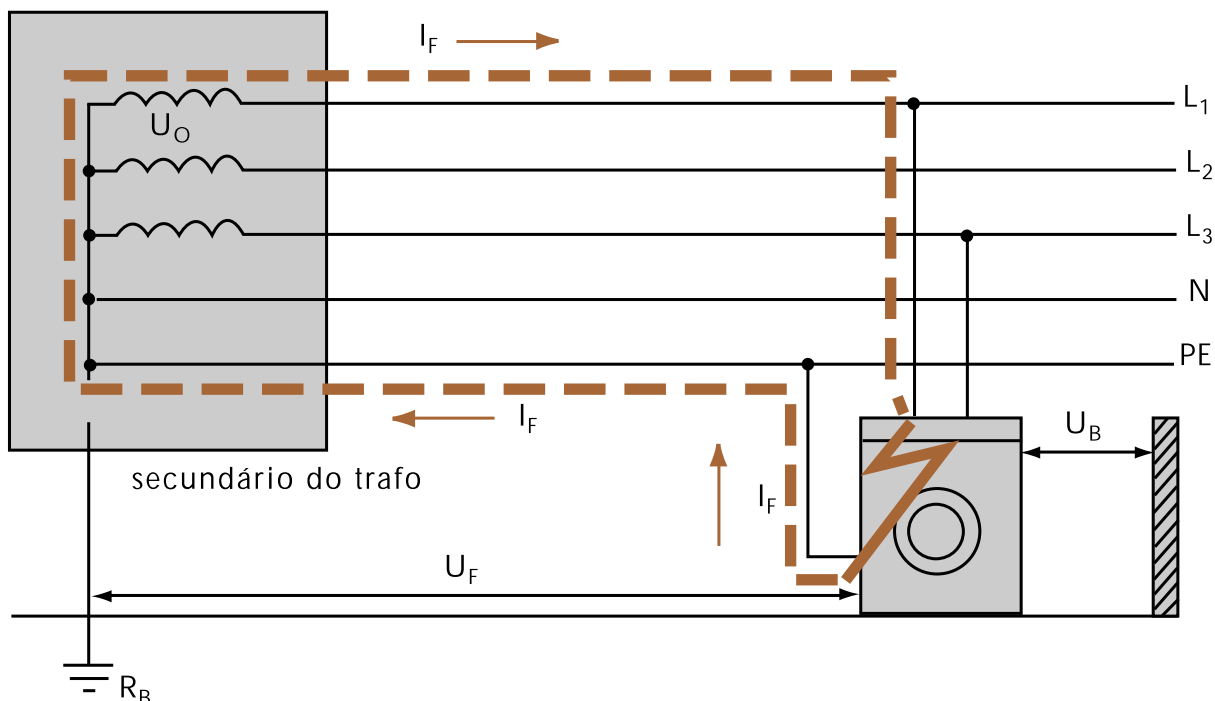


Figura 16

## Esquema IT

É um esquema parecido com o TT, porém o aterramento da fonte é realizado através da inserção de uma impedância de valor elevado (resistência ou indutância), conforme figura 17. Com isso, limita-se a corrente de falta a um valor desejado, de forma a não permitir que uma primeira falta desligue o sistema. Geralmente, essa corrente não é perigosa para as pessoas, mas como a instalação estará operando em condição de falta, devem ser utilizados dispositivos que monitorem a isolação dos condutores, evitando a excessiva degradação dos componentes da instalação.

O uso dos sistemas IT é restrito aos casos onde uma primeira falha não pode desligar imediatamente a alimentação, interrompendo processos importantes (como em salas cirúrgicas, certos processos metalúrgicos, etc.).

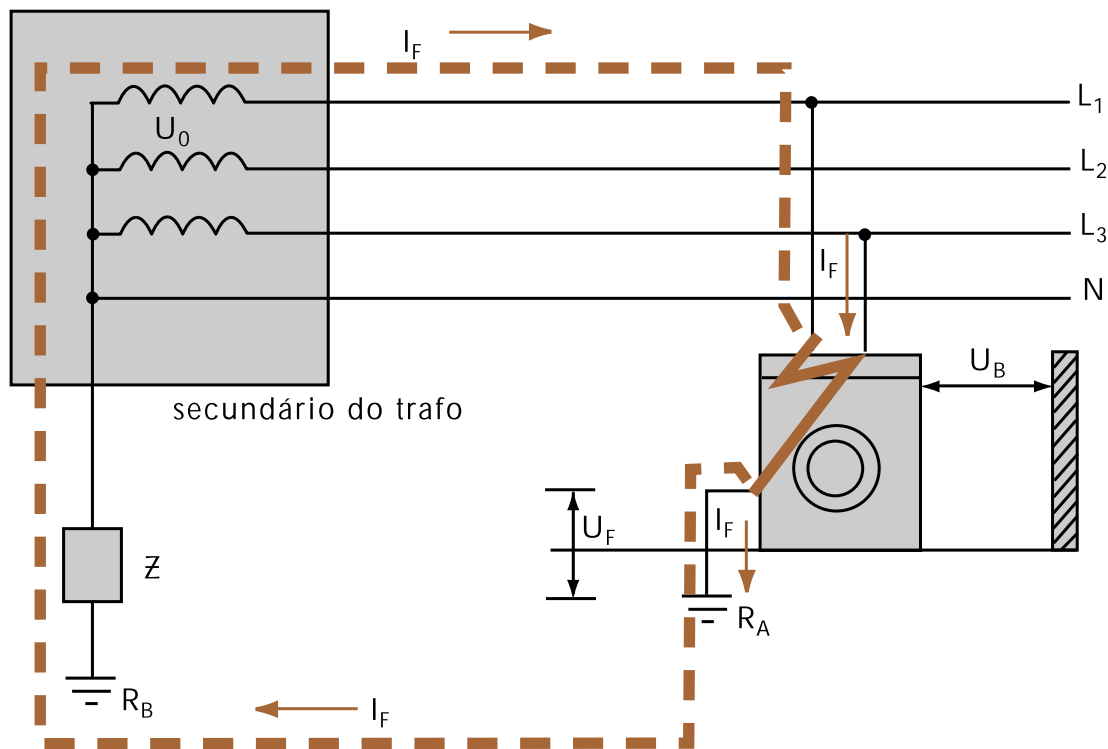


Figura 17