

Guia Técnico Completo sobre Sistemas de Aterramento Elétrico para Eletricistas e Técnicos Conforme Normas Brasileiras

Eng° Walterney Luis Pinto

Guia Técnico Completo sobre Sistemas de Aterramento Elétrico para Eletricistas e Técnicos Conforme Normas Brasileiras

1. Introdução ao Aterramento Elétrico.....	3
• 1.1. Definição e Conceitos Fundamentais.....	3
• 1.2. A Importância Vital do Aterramento: Segurança, Proteção de Equipamentos e Funcionalidade.....	3
2. Componentes Essenciais de um Sistema de Aterramento.....	5
• 2.1. Eletrodos de Aterramento.....	5
• 2.2. Condutor de Aterramento.....	7
• 2.3. Condutores de Proteção (PE).....	7
• 2.4. Condutor PEN (Proteção e Neutro).....	9
• 2.5. Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) ou Terminal de Aterramento Principal.....	10
3. Esquemas de Aterramento Conforme ABNT NBR 5410.....	11
• 3.1. Simbologia e Classificação dos Esquemas (NBR 5410, item 4.2.2.2).....	11
• 3.2. Esquema TT.....	13
• 3.3. Esquema TN.....	15
• 3.4. Esquema IT (Isolado-Terra).....	20
4. Equipotencialização: A Base da Segurança Elétrica (NBR 5410).....	25
• 4.1. Conceito e Objetivos da Equipotencialização.....	25
• 4.2. Ligação Equipotencial Principal (LEP/BEP).....	26
• 4.3. Ligação Equipotencial Suplementar (LES/BEL).....	28
• 4.4. A Sinergia entre Equipotencialização e os Sistemas de Aterramento.....	29
5. Principais Requisitos da ABNT NBR 5410 para Sistemas de Aterramento.....	30
• 5.1. Visão Geral dos Requisitos de Proteção para Garantir Segurança (Seção 5.1 da NBR 5410).....	31
• 5.2. Dimensionamento e Instalação de Condutores de Proteção (PE) (Seção 6.4.3 da NBR 5410).....	32
• 5.3. Aterramento Funcional e Combinado (Seções 6.4.6 e 6.4.7 da NBR 5410).....	34
• 5.4. Outras Normas ABNT Relevantes para Aterramento.....	34
Referências citadas.....	35

1. Introdução ao Aterramento Elétrico

O sistema de aterramento elétrico é um dos pilares fundamentais para a segurança e o correto funcionamento das instalações elétricas. Para eletricistas e técnicos, compreender profundamente seus princípios, componentes, normas e aplicações é essencial não apenas para a conformidade técnica, mas principalmente para a proteção de vidas e do patrimônio. Este guia técnico visa fornecer uma visão abrangente e detalhada sobre os sistemas de aterramento, com foco nas diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente a NBR 5410.

- **1.1. Definição e Conceitos Fundamentais**

O aterramento elétrico consiste na ligação intencional e controlada de um sistema, equipamento ou ponto específico de uma instalação elétrica à terra.¹ Esta conexão é materializada por um conjunto de condutores que estabelecem um caminho de baixa impedância, permitindo que eventuais correntes de fuga ou de falta sejam direcionadas e dispersadas no solo.² A terra, devido à sua vasta massa e condutividade (variável conforme o local), é considerada um referencial de potencial, idealmente assumido como zero volts.

A eficácia de um sistema de aterramento não reside meramente na existência de uma conexão física com o solo. O aspecto crucial é a *qualidade* dessa conexão, traduzida pela garantia de uma impedância suficientemente baixa. Se a impedância do percurso de aterramento for elevada, as correntes de falta podem não atingir o valor necessário para sensibilizar os dispositivos de proteção (como disjuntores e fusíveis), ou podem gerar diferenças de potencial perigosas nas massas metálicas dos equipamentos, colocando em risco os usuários e a própria instalação. Portanto, a baixa impedância é o cerne da funcionalidade e da segurança proporcionadas pelo aterramento.

- **1.2. A Importância Vital do Aterramento: Segurança, Proteção de Equipamentos e Funcionalidade**

As razões para implementar um sistema de aterramento eficaz são multifacetadas e interconectadas, abrangendo a segurança de seres vivos, a integridade dos equipamentos e a própria operacionalidade das instalações.

* ****Segurança de Pessoas e Animais:****

A finalidade primordial do aterramento é proteger pessoas e animais contra choques elétricos, particularmente os choques por contato indireto, que ocorrem ao tocar em partes metálicas (massas) de equipamentos ou instalações que se tornaram acidentalmente energizadas devido a uma falha de isolamento.[2, 3, 4] Ao criar um caminho de baixa impedância para a terra, o sistema de aterramento minimiza as tensões de toque (diferença de potencial entre a massa energizada e o solo onde a pessoa está) e as tensões de passo (diferença de potencial entre os pés de uma pessoa no solo próximo a um ponto de falta). As correntes de falta são, assim, desviadas para a terra, em vez de circularem perigosamente através do corpo de um indivíduo.[2, 4]

* ****Proteção de Equipamentos:****

O aterramento desempenha um papel vital na salvaguarda dos equipamentos elétricos e eletrônicos. Ele ajuda a evitar danos causados por sobretensões transitórias, descargas atmosféricas (raios) ou falhas internas no sistema elétrico.[2, 5] Ao proporcionar um caminho para a dissipação dessas energias excessivas, reduz-se significativamente o risco de queima de componentes, falhas operacionais e, em casos extremos, incêndios de origem elétrica.[2]

* ****Funcionalidade de Sistemas Elétricos e Eletrônicos:****

Um aterramento adequado é indispensável para o funcionamento correto e confiável da instalação elétrica e para a conservação dos bens.[3] Ele fornece um referencial de potencial estável, essencial para o desempenho de sistemas eletrônicos sensíveis, minimizando a suscetibilidade a ruídos e interferências eletromagnéticas (EMI) que podem comprometer a comunicação de dados ou o processamento de sinais.[5, 6] Além disso, o aterramento é fundamental para que os dispositivos de proteção, como disjuntores, fusíveis e dispositivos diferenciais-residuais (DRs), atuem de forma rápida e eficaz quando uma falha ocorre.[3]

As três finalidades principais do aterramento – segurança, proteção de equipamentos e funcionalidade – são intrinsecamente interdependentes. Um sistema de aterramento que é funcionalmente deficiente, por exemplo, devido a uma alta resistência de contato com o solo, comprometerá diretamente a capacidade de proteger os equipamentos contra sobretensões. Se os dispositivos de proteção não atuarem corretamente devido a um aterramento inadequado³, os equipamentos ficam vulneráveis a danos.² Um equipamento danificado por essa razão pode,

subsequentemente, apresentar uma falha que energize sua carcaça metálica, criando um risco direto e imediato de choque elétrico para o usuário.⁴ Conclui-se, portanto, que a funcionalidade do sistema de aterramento é um pré-requisito para a proteção eficaz dos equipamentos, que, por sua vez, é um pré-requisito indispensável para a segurança das pessoas.

Para o electricista ou técnico, a responsabilidade transcende a simples ação de "conectar um fio à terra". Envolve a compreensão de que o sistema de aterramento deve ser projetado, executado e verificado para cumprir *todas* as suas funções de maneira integrada. Isso exige um conhecimento aprofundado das normas técnicas, dos componentes do sistema e dos métodos de verificação e medição. A negligência em qualquer um desses aspectos pode resultar em uma falsa sensação de segurança e ter consequências em cascata, comprometendo a integridade da instalação e, mais criticamente, a segurança dos seus usuários. As normas, como a ABNT NBR 5410³, existem precisamente para orientar o profissional na concepção e implementação de um sistema de aterramento que seja simultaneamente seguro, eficaz na proteção dos equipamentos e funcionalmente correto.

2. Componentes Essenciais de um Sistema de Aterramento

Um sistema de aterramento é composto por diversos elementos que trabalham em conjunto para garantir sua eficácia. O conhecimento detalhado de cada um desses componentes é crucial para o profissional da área elétrica.

● 2.1. Eletrodos de Aterramento

- **Definição:** O eletrodo de aterramento é a parte condutora do sistema que é instalada em contato direto e íntimo com o solo (terra). Sua função primordial é dispersar as correntes elétricas indesejadas (correntes de falta, de fuga ou provenientes de descargas atmosféricas) na massa da terra.¹
- **Materiais:** São construídos com materiais de alta condutividade elétrica e boa resistência à corrosão, sendo os mais comuns o aço revestido com uma espessa camada de cobre (aço-cobreado) ou o cobre maciço.¹
- **Tipos Comuns:** Existem diversos tipos e configurações de eletrodos, incluindo:
 - **Hastes Verticais ou Inclinadas:** São as mais comuns, cravadas verticalmente ou inclinadas no solo.

- **Cabos Horizontais (Condutores Enterrados):** Cabos de cobre nu ou fitas metálicas enterrados horizontalmente.
- **Placas de Aterramento:** Chapas metálicas enterradas.
- **Malhas de Aterramento (Grades):** Conjunto de condutores interligados e enterrados, formando uma grade, usadas em subestações e instalações de maior porte para obter baixas resistências e controlar gradientes de potencial.
- **Eletrodos Naturais:** A NBR 5410 e a NBR 5419 incentivam o uso de elementos metálicos que já existem na estrutura da edificação e estão em contato com o solo, como as armaduras de aço das fundações de concreto armado, desde que sua continuidade elétrica e adequação sejam verificadas.¹
- **Fatores que Influenciam a Resistência do Eletrodo de Aterramento:** A resistência entre o eletrodo e a terra é um parâmetro crítico e depende de vários fatores:
 - **Comprimento/Profundidade do Eletrodo:** Aumentar a profundidade de cravação de uma haste é uma das formas mais eficazes de reduzir a resistência de aterramento. Camadas mais profundas do solo tendem a ser mais úmidas e, portanto, mais condutoras. Além disso, posicionar o eletrodo abaixo da linha de congelamento (em regiões frias) evita variações sazonais drásticas na resistência. Dobrar o comprimento de uma haste pode reduzir sua resistência em mais de 40%.¹
 - **Diâmetro do Eletrodo:** O aumento do diâmetro de uma haste tem um impacto relativamente pequeno na redução da resistência. Por exemplo, dobrar o diâmetro pode resultar em uma diminuição da resistência de apenas cerca de 10%.¹
 - **Número de Eletrodos (Malhas ou Arranjos):** A utilização de múltiplos eletrodos (hastes, por exemplo) conectados em paralelo é uma técnica eficaz para diminuir a resistência total do sistema de aterramento. Contudo, para que essa técnica seja eficiente, o espaçamento entre os eletrodos é crucial. Recomenda-se que a distância entre hastes paralelas seja, no mínimo, igual ao seu comprimento cravado. Espaçamentos menores podem levar à sobreposição das "zonas de influência" de cada haste, reduzindo a eficácia do conjunto.¹
 - **Resistividade do Solo:** Este é, talvez, o fator mais crítico e variável. A resistividade do solo depende de sua composição (argila, areia, rocha, húmus), teor de umidade, temperatura e concentração de sais e minerais dissolvidos.¹ Solos argilosos e úmidos geralmente apresentam baixa resistividade, enquanto solos arenosos, pedregosos ou secos tendem a

ter alta resistividade.

- **Contato Eletrodo-Solo:** Para uma boa dispersão de corrente, o eletrodo deve estar em contato firme e íntimo com o solo. Superfícies de eletrodos limpas, livres de tintas, graxas ou produtos de corrosão isolantes, são essenciais.¹ A compactação do solo ao redor do eletrodo também influencia a qualidade do contato.

A escolha e instalação de eletrodos envolve uma otimização técnico-econômica. Considerando que a profundidade de cravação é significativamente mais eficaz do que o aumento do diâmetro para reduzir a resistência de uma haste, e que o espaçamento adequado entre múltiplas hastes é fundamental para seu desempenho conjunto, o técnico deve priorizar a cravação mais profunda de hastes e o planejamento correto do arranjo de múltiplas hastes, quando necessário. Essa abordagem otimiza o uso de material e mão de obra, sendo mais eficiente do que simplesmente utilizar hastes mais grossas ou um número excessivo de hastes instaladas muito próximas umas das outras. A NBR 5410³ também reconhece e permite o uso das armaduras de aço do concreto das fundações como eletrodo de aterramento (conhecido como eletrodo de fundação), uma prática que pode ser vantajosa devido à grande área de contato com o solo, resultando frequentemente em baixos valores de resistência de aterramento.

● 2.2. Condutor de Aterramento

- **Definição:** O condutor de aterramento é o componente que estabelece a ligação elétrica entre o Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) da instalação e o eletrodo (ou sistema de eletrodos) de aterramento. Em alguns contextos, pode também referir-se ao condutor que liga diretamente uma parte da instalação a ser aterrada ao eletrodo.¹
- **Importante Distinção:** É fundamental não confundir o condutor de aterramento com o condutor de proteção (PE). Enquanto o condutor de aterramento é o elo físico entre o sistema de equipotencialização interno da edificação e a terra (solo), o condutor de proteção (PE) percorre os circuitos internos, conectando as massas dos equipamentos ao BEP.⁷
- **Dimensionamento:** O condutor de aterramento deve ser dimensionado para suportar, sem danos térmicos ou mecânicos, as máximas correntes de falta à terra esperadas para a instalação. A NBR 5410 fornece critérios para seu dimensionamento, geralmente relacionados à seção do maior condutor de proteção da instalação ou à corrente de curto-circuito presumida.

● 2.3. Condutores de Proteção (PE)

- **Definição:** O condutor de proteção, frequentemente designado pela sigla PE (do inglês *Protective Earth*), é o condutor destinado a interligar eletricamente

as massas dos equipamentos elétricos, os elementos condutores estranhos à instalação (como tubulações metálicas, estruturas, etc., que não fazem parte do sistema elétrico mas podem se tornar perigosos em caso de falta) e o Barramento de Equipotencialização Principal (BEP). É popularmente conhecido como "fio terra".⁴

- **Função Principal:** Sua função primordial é fornecer um caminho seguro e de baixa impedância para a dissipação de correntes de fuga ou correntes de falta à terra. Ao fazer isso, ele protege as pessoas contra choques elétricos por contato indireto e também ajuda a proteger os equipamentos contra danos.⁴
- **Obrigatoriedade (NBR 5410):** Conforme a NBR 5410, todo circuito elétrico deve, obrigatoriamente, possuir um condutor de proteção em toda a sua extensão.⁹
- **Identificação (Cores):** Para facilitar a identificação e evitar erros de conexão, o condutor de proteção deve ser identificado inequivocamente pela dupla coloração verde-e-amarela ou, alternativamente, apenas pela cor verde.⁹
- **Compartilhamento:** Um único condutor de proteção (PE) pode ser comum a mais de um circuito, desde que esteja instalado dentro do mesmo conduto (eletroduto, canaleta, etc.) que os respectivos condutores de fase desses circuitos.⁹
- **Elementos NÃO Admitidos como PE (NBR 5410):** A norma proíbe explicitamente o uso de certos elementos metálicos como condutores de proteção. Entre eles estão ⁷:
 - Tubulações metálicas de água.
 - Tubulações de gases ou líquidos inflamáveis ou combustíveis.
 - Elementos da estrutura da edificação que estejam sujeitos a esforços mecânicos em serviço normal.
 - Eletrodutos flexíveis (conduítes metálicos flexíveis) e outras partes metálicas flexíveis.
 - As armaduras de concreto ou as estruturas e elementos metálicos da construção. É importante notar que, embora esses elementos possam ser utilizados como *eletrodos de aterramento* (se atenderem a certos requisitos), eles **não** podem ser utilizados como *condutores de proteção* para levar a corrente de falta de um equipamento ao BEP.
- **Dimensionamento (NBR 5410):** A seção transversal do condutor de proteção (SPE) deve ser dimensionada para suportar as correntes de falta sem aquecimento excessivo até a atuação do dispositivo de proteção do circuito. O dimensionamento pode ser realizado por dois métodos principais:

- **Cálculo:** Utilizando a fórmula $S=kl^2 \cdot t$ (ou uma variação dela, $S=kl \cdot t$ como em ⁹, onde S é a seção em mm², l é o valor eficaz da corrente de curto-circuito prospectiva em Ampères (A), t é o tempo de atuação do dispositivo de proteção em segundos (s), e k é um fator que depende do material do condutor, da isolação e das temperaturas inicial e final admissíveis, obtido em tabelas da NBR 5410 (Tabelas 53 a 57).⁹ *Nota: A fórmula $S=kl \cdot t$ é mais comumente associada à capacidade térmica de suportar correntes de curto-circuito.*
- **Tabela Simplificada (Tabela 58 da NBR 5410/04):** Para instalações de baixa tensão, a norma oferece um método simplificado baseado na seção do condutor de fase (SF) do circuito ⁹:
 - Se $SF \leq 16 \text{ mm}^2$, então $SPE = SF$.
 - Se $SF = 25 \text{ mm}^2$ ou $SF = 35 \text{ mm}^2$, então $SPE = 16 \text{ mm}^2$.
 - Se $SF > 35 \text{ mm}^2$, então $SPE = SF/2$.

A proibição de utilizar certos elementos, como as armaduras de concreto, como *condutor de proteção* ⁷ é um ponto crucial e, por vezes, mal interpretado. Embora uma armadura de fundação possa constituir um excelente *eletrodo de aterramento* devido à sua grande superfície de contato com o solo, utilizá-la como o caminho físico para conduzir a corrente de falta de um equipamento específico até o Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) é inadequado e perigoso. Tal prática poderia introduzir correntes de falta diretamente na estrutura do edifício, com caminhos de retorno imprevisíveis, comprometer a integridade da proteção contra choques, dificultar a detecção e localização de falhas, e até mesmo causar danos à própria estrutura devido a efeitos eletrolíticos ou térmicos. O condutor de proteção (PE) deve ser um caminho dedicado, contínuo, de baixa impedância conhecida e claramente identificado, garantindo que as correntes de falta sejam conduzidas de forma segura e controlada para o BEP e, subsequentemente, para o eletrodo de aterramento. A NBR 5410 é clara ao distinguir a função de *eletrodo de aterramento* da função de *condutor de proteção*.

● 2.4. Condutor PEN (Proteção e Neutro)

- **Definição:** O condutor PEN é um condutor único que combina as funções de condutor de proteção (PE) e de condutor neutro (N).⁵
- **Origem:** É comumente encontrado em sistemas de distribuição de energia elétrica das concessionárias, originando-se no ponto de aterramento do secundário do transformador de distribuição (geralmente o ponto estrela em conexões Y).⁹
- **Uso Restrito (NBR 5410):** A utilização do condutor PEN dentro das instalações das edificações é admitida pela NBR 5410, mas sob condições restritas: apenas em instalações fixas e desde que sua seção transversal não

seja inferior a 10mm² para condutores de cobre ou 16mm² para condutores de alumínio.³

- **Recomendação:** A norma recomenda evitar o uso do esquema TN-C (que utiliza o condutor PEN em toda a extensão da instalação) como medida para reduzir os efeitos de sobretensões induzidas e de interferências eletromagnéticas nas instalações elétricas.¹¹
- **Riscos:** A interrupção acidental do condutor PEN é uma ocorrência extremamente perigosa. Se o PEN for interrompido, as massas dos equipamentos conectados a ele podem ficar submetidas à tensão de fase, pois perdem tanto a referência de neutro quanto o caminho de proteção para a terra, elevando drasticamente o risco de choque elétrico.¹¹
- **Separação PEN para PE e N:** Em edificações que são alimentadas por um sistema TN-C (com condutor PEN), a NBR 5410 exige que o condutor PEN seja separado em dois condutores distintos – um condutor de proteção (PE) e um condutor neutro (N) – a partir do ponto de entrada da linha na edificação ou, no mais tardar, no quadro de distribuição principal. A partir desse ponto de separação, os condutores PE e N não devem ser mais interligados, e a instalação interna passa a operar como um sistema TN-S.³

A exigência de uma seção mínima robusta para o condutor PEN (10mm² para cobre ou 16mm² para alumínio)³ não é arbitrária. Ela reflete a criticidade da dupla função desempenhada por este condutor e a necessidade imperativa de garantir sua integridade mecânica e capacidade de condução elétrica. Sendo responsável tanto pelo retorno da corrente de carga (função de Neutro) quanto por prover o caminho para a corrente de falta (função de Proteção), uma eventual interrupção do PEN teria consequências catastróficas para a segurança da instalação. A seção maior visa conferir maior robustez contra danos mecânicos e assegurar capacidade suficiente para suportar tanto as correntes de carga normais quanto as elevadas correntes de falta, minimizando o risco de falha.

● 2.5. Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) ou Terminal de Aterramento Principal

- **Definição:** O Barramento de Equipotencialização Principal (BEP), também referido como Terminal de Aterramento Principal em alguns contextos, é o componente central que serve como via de interligação para todos os elementos que devem ser incluídos na equipotencialização principal de uma edificação. Fisicamente, o BEP pode se apresentar como uma barra metálica (geralmente de cobre), uma chapa condutora, ou mesmo um segmento de cabo devidamente preparado para múltiplas conexões, não estando restrito a uma configuração geométrica particular.³
- **Função:** A função primordial do BEP é conectar, em um único ponto de

referência, todos os componentes do sistema de aterramento e de equipotencialização. Isso inclui o condutor de proteção (PE) principal da instalação, o condutor de aterramento (que o liga ao eletrodo de aterramento), as tubulações metálicas de água, gás, esgoto, etc., que adentram a edificação, as estruturas metálicas da própria edificação, e outros elementos condutores relevantes. O objetivo é garantir que todos esses elementos estejam no mesmo potencial elétrico em relação à terra.³

- **Obrigatoriedade:** De acordo com a NBR 5410, cada edificação deve possuir seu próprio BEP, individualizado.³
- **Localização:** O BEP deve ser instalado em local acessível, que permita a fácil inspeção visual das conexões e a realização de ensaios e medições, como a verificação da continuidade elétrica das ligações.³

O BEP não deve ser visto apenas como um simples ponto de conexão, mas como o nó central que materializa o conceito fundamental de equipotencialidade dentro da edificação. Sua correta instalação e a interligação efetiva de *todos* os elementos condutivos relevantes são cruciais para que os esquemas de aterramento (especialmente os esquemas TN e TT) funcionem conforme projetado em uma situação de falta, minimizando as tensões de toque perigosas. Se elementos condutivos significativos da edificação não estiverem devidamente conectados ao BEP, eles podem adquirir potenciais perigosamente diferentes do restante da instalação durante uma falha elétrica, criando riscos de choque mesmo que o eletrodo de aterramento principal possua uma baixa resistência. O BEP, ao unificar os potenciais, assegura que todas as massas de equipamentos e os elementos condutores estranhos à instalação "enxerguem" o mesmo potencial de referência da terra, sendo, portanto, o "coração" da segurança provida pelo sistema de aterramento e equipotencialização.³

3. Esquemas de Aterramento Conforme ABNT NBR 5410

A norma ABNT NBR 5410, em seu item 4.2.2.2, estabelece e classifica os diferentes esquemas de aterramento que podem ser utilizados em instalações elétricas de baixa tensão. A escolha e a correta implementação do esquema de aterramento são determinantes para a segurança e o desempenho da instalação.

- **3.1. Simbologia e Classificação dos Esquemas (NBR 5410, item 4.2.2.2)**

A NBR 5410 utiliza uma simbologia baseada em letras para classificar os esquemas de aterramento. Essa notação padronizada indica a situação do

sistema de alimentação elétrica em relação à terra, a situação das massas metálicas da instalação elétrica em relação à terra, e a forma como os condutores neutro e de proteção são dispostos.³

- **Primeira Letra (Situação da alimentação em relação à terra):**
 - **T:** Indica que um ponto do sistema de alimentação está diretamente aterrado. Geralmente, este ponto é o neutro do transformador da concessionária ou do transformador da própria instalação.³
 - **I:** Indica que todas as partes vivas do sistema de alimentação são isoladas da terra, ou que um ponto da alimentação é aterrado através de uma impedância de valor suficientemente elevado, limitando a corrente de falta à terra.³
- **Segunda Letra (Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra):**
 - **T:** Indica que as massas metálicas dos equipamentos da instalação são diretamente aterradas, utilizando um eletrodo de aterramento próprio, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação. Neste caso, o aterramento das massas é eletricamente distinto do aterramento da fonte de alimentação.³
 - **N:** Indica que as massas metálicas dos equipamentos da instalação são diretamente ligadas ao ponto da alimentação que está aterrado. Em sistemas de corrente alternada, este ponto aterrado é normalmente o ponto neutro.³
- **Outras Letras (Eventuais - Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção):**
 - **S (Separado):** Indica que as funções de condutor neutro (N) e de condutor de proteção (PE) são asseguradas por condutores distintos ao longo de toda a instalação ou em parte dela.³
 - **C (Combinado):** Indica que as funções de condutor neutro (N) e de condutor de proteção (PE) são combinadas em um único condutor, denominado condutor PEN.³

A compreensão desta simbologia é o primeiro e fundamental passo para que eletricitistas e técnicos possam identificar corretamente os diferentes sistemas de aterramento que encontrarão em campo. Sem o entendimento claro do que significa, por exemplo, "TN-S" ou "TT", o profissional não estará apto a aplicar as regras de segurança, os métodos de proteção e os procedimentos de instalação e verificação corretos para aquele sistema específico. As referências³ reforçam unanimemente essa classificação como base para o entendimento dos esquemas.

• 3.2. Esquema TT

- **Características:** No esquema TT, um ponto da alimentação (tipicamente o neutro do transformador da concessionária) é diretamente aterrado (este aterramento é frequentemente chamado de RB ou aterramento da fonte). As massas dos equipamentos da instalação do consumidor são ligadas a um ou mais eletrodos de aterramento próprios, que são eletricamente distintos e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação (este aterramento local é chamado de RA ou aterramento das massas).³
- **Configuração:** O condutor neutro proveniente da concessionária é aterrado na origem do sistema de distribuição. Dentro da edificação do consumidor, as massas dos equipamentos (carcaças metálicas) são conectadas a um sistema de aterramento local (constituído por hastes, malha, ou outro tipo de eletrodo), que não possui uma ligação metálica direta com o aterramento do neutro da concessionária ou com o próprio condutor neutro dentro da edificação para fins de aterramento das massas.⁵
- **Corrente de Falta:** Em caso de uma falta fase-massa (contato de um condutor de fase com a carcaça de um equipamento), a corrente de falta (I_d) circula da fase, passa pela massa do equipamento, pelo eletrodo de aterramento das massas (RA), pela terra (solo), pelo eletrodo de aterramento da alimentação (RB), e retorna ao ponto de neutro aterrado da fonte, fechando o circuito. O valor desta corrente é limitado pela soma das resistências RA e RB e pela resistência do próprio solo. Geralmente, essas correntes de falta são inferiores às correntes de curto-circuito franco, mas podem ser suficientes para criar tensões de contato perigosas nas massas dos equipamentos.⁵
- **Proteção:** Devido à possibilidade de a corrente de falta à terra não ser suficientemente elevada para sensibilizar os dispositivos de proteção contra sobrecorrente (disjuntores comuns ou fusíveis) em tempo hábil, o uso de Dispositivos à Diferencial-Residual (DR) é **obrigatório** no esquema TT para garantir a proteção contra contatos indiretos. A condição de atuação segura é dada pela relação $RA \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$, onde RA é a resistência do aterramento das massas, $I_{\Delta n}$ é a corrente diferencial-residual nominal de atuação do DR, e U_L é a tensão de contato limite admissível (geralmente 50V em locais secos e 25V em locais molhados).³
- **Vantagens:**
 - Muitos especialistas e algumas referências normativas consideram o esquema TT como o mais eficiente e seguro em diversas situações.⁵ Essa percepção se baseia na independência dos sistemas de aterramento, o

que pode dificultar a transferência de potenciais perigosos da rede de distribuição pública para as massas da instalação do consumidor em certas condições de falta na rede.

- Pode oferecer menor nível de interferência conduzida da rede de alimentação para a instalação interna, o que é benéfico para equipamentos eletrônicos sensíveis.
- **Desvantagens:**
 - A segurança do esquema TT depende crucialmente da existência e do correto funcionamento de um DR e da obtenção de um valor de resistência de aterramento local (RA) suficientemente baixo para satisfazer a condição $RA \cdot I_{\Delta n} \leq UL$.³
 - Pode se tornar mais caro e complexo de implementar se o solo local apresentar alta resistividade, pois exigirá um sistema de eletrodos de aterramento mais elaborado (mais hastes, tratamento do solo, etc.) para atingir o valor de RA necessário.¹⁶
 - Existem discussões técnicas sobre a compatibilidade do esquema TT com o requisito da NBR 5410 (item 5.1.2.2.3.3) que estabelece que "Todas as massas da instalação situadas em uma mesma edificação devem estar vinculadas à equipotencialização principal da edificação e, assim, a um mesmo e único eletrodo de aterramento". Isso levanta questionamentos sobre como um aterramento TT, onde o aterramento das massas (RA) é intencionalmente separado do aterramento do neutro da concessionária (RB) na edificação, se enquadra perfeitamente nessa exigência de "único eletrodo" no contexto mais amplo do sistema de alimentação.¹⁵
- **Aplicações Típicas:** A NBR 5410, em algumas interpretações e edições anteriores, chegou a recomendar o esquema TT como primeira opção em muitos casos.⁵ É comumente encontrado em instalações residenciais e comerciais, sendo particularmente indicado em áreas rurais ou locais onde a qualidade e a confiabilidade do aterramento fornecido pela concessionária de energia são incertas ou desconhecidas. Também é considerado adequado para locais com risco de explosão ou onde o comprimento das canalizações elétricas é desconhecido, pois a proteção por DR independe da impedância do laço de falta da linha.¹⁷
- **Instalação de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS):** A forma de conectar os DPS em um sistema TT requer atenção especial, particularmente se os DPS forem instalados a montante de dispositivos DR. Nesses casos, a NBR 5410, através da figura 13 (e suas notas), estabelece esquemas de ligação específicos, tornando obrigatório, em certas configurações, o uso do

esquema 3 da referida figura.¹⁵

A percepção da "eficiência" do esquema TT⁵ não deve ser interpretada como uma superioridade absoluta e incondicional. Sua segurança é intrinsecamente condicionada à correta especificação, instalação e funcionamento do Dispositivo Diferencial-Residual (DR) e à obtenção de uma resistência de aterramento das massas (RA) suficientemente baixa. Sem um DR adequadamente sensível e um RA que permita sua atuação dentro dos limites de tensão de contato seguros, o esquema TT pode, paradoxalmente, tornar-se menos seguro do que um esquema TN bem projetado e executado. Isso ocorre porque a corrente de falta à terra no TT pode ser inerentemente baixa, não sendo capaz de acionar dispositivos de proteção baseados apenas em sobrecorrente. Portanto, a obrigatoriedade do uso do DR³ é o que confere ao esquema TT seu nível de segurança característico. A aparente contradição levantada por alguns profissionais¹⁵ em relação à NBR 5410 – que, por um lado, recomenda o TT em certas situações⁵ e, por outro, exige que todas as massas na mesma edificação estejam vinculadas à equipotencialização principal e a um mesmo e único eletrodo de aterramento – pode ser esclarecida ao se considerar o escopo da equipotencialização. A exigência da norma (item 5.1.2.2.3.3) foca na equipotencialização *interna* da edificação. No esquema TT, todas as massas *dentro* da edificação devem, de fato, ser interligadas através dos condutores de proteção ao Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) local, e este BEP é, por sua vez, aterrado pelo eletrodo de aterramento das massas (RA). A "não equipotencialização" ou a "distinção elétrica" característica do TT refere-se à separação entre este conjunto (BEP + massas da instalação + eletrodo RA) e o aterramento do ponto de alimentação da concessionária (eletrodo RB). A norma, portanto, não se contradiz, mas especifica diferentes níveis e âmbitos de aterramento e equipotencialização que devem coexistir e ser corretamente interpretados.

● 3.3. Esquema TN

- **Princípio Geral:** No esquema TN, um ponto da alimentação (normalmente o ponto neutro do transformador) é diretamente aterrado. As massas metálicas dos equipamentos da instalação do consumidor são ligadas a este ponto aterrado da alimentação através de condutores de proteção (PE) ou de um condutor que combina as funções de proteção e neutro (PEN).³
- **Comportamento em Falta:** Uma falta direta entre uma fase e uma massa metálica (carcaça de equipamento) resulta, teoricamente, em uma corrente de curto-circuito. Isso ocorre porque o caminho de retorno para esta corrente de falta é predominantemente metálico, fluindo através do condutor de proteção (PE ou PEN) diretamente de volta ao ponto de neutro aterrado da fonte, que possui baixa impedância.⁶
- **Proteção:** A proteção contra contatos indiretos é geralmente realizada por dispositivos de proteção contra sobrecorrente (disjuntores ou fusíveis), que

devem detectar a alta corrente de curto-circuito e interromper o circuito em um tempo suficientemente curto para evitar tensões de contato perigosas. Dispositivos DR podem ser utilizados como proteção complementar ou, em situações específicas determinadas pela NBR 5410 (como em circuitos de tomadas em áreas molhadas ou externas), como proteção adicional obrigatória.³

- **Confiabilidade:** A eficácia e a segurança do esquema TN dependem crucialmente da integridade e da continuidade do condutor neutro (e do condutor PEN, quando aplicável) e, fundamentalmente, da garantia de uma baixa impedância do percurso da corrente de falta (Z_s). Uma impedância elevada nesse percurso pode limitar a corrente de falta a um nível insuficiente para acionar a proteção contra sobrecorrente no tempo adequado.³
- **3.3.1. Sistema TN-S (Terra-Neutro-Separado)**
 - **Características:** No sistema TN-S, o condutor neutro (N) e o condutor de proteção (PE) são distintos e mantidos separados em toda a extensão da instalação, desde a origem (transformador da concessionária ou ponto de entrada da alimentação na edificação) até os pontos de utilização finais.³ Para sistemas trifásicos com neutro, isso implica o uso de cinco condutores (3 fases + Neutro + PE).
 - **Vantagens:**
 - É considerado o mais seguro e confiável entre as variantes do esquema TN.¹¹
 - Oferece um caminho dedicado e de baixa impedância (o condutor PE) para a circulação da corrente de falta fase-massa. Isso facilita a detecção da falta e a atuação rápida dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente.¹⁹
 - Apresenta menor propensão a ruídos e interferências eletromagnéticas no condutor de proteção (PE), pois este não conduz as correntes normais de neutro (correntes de desequilíbrio ou harmônicas). Isso é benéfico para a operação de equipamentos eletrônicos sensíveis.⁶
 - Em teoria, continua a oferecer proteção mesmo na eventualidade de perda do aterramento do transformador da fonte, desde que o condutor PE permaneça íntegro e corretamente conectado ao ponto de neutro na origem do sistema TN-S.¹⁹
 - **Desvantagens:**
 - Possui um custo de instalação ligeiramente maior em comparação com o esquema TN-C, devido à necessidade de um condutor adicional (o condutor PE separado).¹²

- **Segurança:** Oferece um alto nível de segurança quando corretamente projetado e implementado. O principal risco associado a este esquema surge se o condutor de proteção (PE) for interrompido ou desconectado em algum ponto da instalação, pois isso eliminaria o caminho de retorno da corrente de falta.¹⁹
- **Aplicações:** É amplamente utilizado em instalações elétricas prediais (residenciais, comerciais) e industriais modernas. É a opção recomendada quando o esquema TT não é viável ou desejado, e é preferível ao TN-C.⁵

O esquema TN-S, pela sua concepção, oferece uma forma de "dupla proteção" implícita contra contatos indiretos. A primeira linha de defesa é constituída pelo caminho de baixa impedância proporcionado pelo condutor PE. Em caso de uma falta fase-massa, essa baixa impedância permite que a corrente de falta atinja níveis elevados, característicos de um curto-circuito, o que deve levar à atuação rápida do dispositivo de proteção contra sobrecorrente (disjuntor ou fusível) do circuito afetado.¹⁹ Se, por alguma eventualidade, essa proteção primária falhar em atuar ou sua atuação for retardada, um Dispositivo Diferencial-Residual (DR), se instalado no circuito (como frequentemente é exigido pela NBR 5410 para circuitos específicos ou como proteção adicional³), pode atuar como uma segunda linha de defesa, detectando a corrente de fuga para o condutor PE e seccionando a alimentação. Essa combinação de mecanismos de proteção (sobrecorrente e diferencial-residual) aumenta consideravelmente a confiabilidade geral da proteção contra choques elétricos no esquema TN-S.

○ 3.3.2. Sistema TN-C (Terra-Neutro-Combinado)

- **Características:** No sistema TN-C, as funções de condutor neutro e de condutor de proteção são combinadas em um único condutor, denominado condutor PEN, ao longo de toda a extensão da instalação.³
- **Riscos e Desvantagens:**
 - **Não Aconselhável/Perigoso:** Apesar de ser um esquema normalizado, seu uso em instalações internas de edificações é fortemente desaconselhado e, em muitos casos, proibido por normas atuais devido aos riscos inerentes.⁵
 - **Risco de Interrupção do PEN:** Esta é a falha mais crítica e perigosa no esquema TN-C. Se o condutor PEN for interrompido em qualquer ponto a montante de uma carga, as massas dos equipamentos conectados após a interrupção podem ficar energizadas com a tensão de fase, pois perdem a referência de neutro e, crucialmente, o caminho de proteção para a terra. Isso cria um risco extremo e imediato de choque elétrico para qualquer pessoa que toque nessas massas.⁶

- **Circulação de Correntes de Neutro pelas Massas:** Em condições normais de operação, as correntes de desequilíbrio do sistema trifásico (ou a corrente de carga em sistemas monofásicos) retornam pelo condutor PEN. Como o PEN está conectado às massas dos equipamentos, essas correntes circulam por elas, o que pode causar elevação de potencial e problemas de interferência.
- **Impossibilidade de Uso Efetivo de DRs:** Dispositivos Diferenciais-Residuais (DRs) não podem ser utilizados de forma eficaz para proteção contra contatos indiretos no esquema TN-C puro. Isso ocorre porque o DR não consegue distinguir entre uma corrente de fuga para a terra e a corrente normal de retorno do neutro, uma vez que ambas circulam pelo mesmo condutor PEN. Qualquer tentativa de instalar um DR convencional resultaria em disparos intempestivos ou na sua inoperância para a função de proteção.³
- **Propensão a Ruído e EMI:** A combinação das funções de neutro e proteção no mesmo condutor torna o sistema mais suscetível a ruídos e interferências eletromagnéticas, que podem afetar o funcionamento de equipamentos eletrônicos sensíveis.⁶
- **Limitações de Uso (NBR 5410):**
 - Seu uso é admitido somente em instalações fixas (ou seja, não em instalações temporárias ou com equipamentos móveis).³
 - O condutor PEN deve ter uma seção mínima de 10mm² se for de cobre, ou 16mm² se for de alumínio.³
- **Aplicações:** Seu uso está em declínio e não é recomendado para novas instalações internas de edificações. Pode ainda ser encontrado em redes de distribuição de energia elétrica mais antigas ou em algumas instalações industriais de grande porte, geralmente na parte da alimentação principal antes da derivação para sistemas TN-S ou TN-C-S internos.⁶

O esquema TN-C, embora conste na NBR 5410 e em normas internacionais, representa um legado de práticas de instalação elétrica mais antigas, onde a prioridade era frequentemente a economia de condutores em detrimento de um nível otimizado de segurança. As severas restrições impostas atualmente pela NBR 5410 (como a exigência de seção mínima elevada para o PEN e a limitação a instalações fixas) e a forte recomendação técnica para evitá-lo sempre que possível ⁵ indicam um claro reconhecimento dos seus riscos inerentes. A principal (e talvez única) "vantagem" do TN-C era a economia de um condutor em sistemas trifásicos (4 fios em vez de 5) ou monofásicos (2 fios em vez de 3). No entanto, o risco catastrófico associado a uma interrupção do condutor PEN ⁶ e a impossibilidade de utilizar Dispositivos

Diferenciais-Residuais (DRs) de forma eficaz para proteção contra contatos indiretos³ superam em muito qualquer benefício econômico inicial. A tendência normativa global e a prática recomendada são claramente no sentido de desencorajar ativamente seu uso em instalações prediais e industriais acessíveis ao consumidor final.

○ **3.3.3. Sistema TN-C-S (Terra-Neuro-Combinado-Separado)**

- **Características:** No sistema TN-C-S, as funções de condutor neutro e de condutor de proteção são combinadas em um único condutor (PEN) em uma parte da instalação (geralmente na seção de alimentação que vem da concessionária de energia ou na entrada principal da edificação) e, a partir de um determinado ponto, são separadas em condutores distintos: um condutor neutro (N) e um condutor de proteção (PE), que seguem separados pelo restante da instalação interna.³
- **Ponto de Separação (Ponto de Transição):** A separação do condutor PEN em condutores PE e N distintos ocorre tipicamente no ponto de entrada da linha elétrica na edificação ou no quadro de distribuição principal (QDP). É crucial que, após este ponto de separação, os condutores PE e N não sejam mais interligados em nenhum outro ponto da instalação a jusante. O condutor PE é então conectado ao Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) e distribuído aos circuitos, enquanto o condutor N segue para alimentar as cargas.³
- **Vantagens:**
 - Permite uma transição de um sistema de alimentação TN-C (comum em redes de distribuição) para um sistema TN-S na instalação interna, combinando a possível economia de condutores na parte da alimentação com o nível de segurança mais elevado do TN-S dentro da edificação.¹²
 - Possibilita o uso de Dispositivos Diferenciais-Residuais (DRs) na parte da instalação que opera como TN-S (após a separação), o que é fundamental para a proteção adicional contra choques elétricos.
- **Desvantagens/Considerações:**
 - A segurança da parte da instalação que opera como TN-C (antes do ponto de separação) ainda depende da integridade do condutor PEN. Uma interrupção do PEN a montante do ponto de separação continua sendo perigosa.
 - Requer cuidado e atenção na execução do ponto de separação PEN para PE + N, garantindo conexões eletricamente seguras, mecanicamente robustas e duradouras.
- **Aplicações:** É um esquema muito comum em edificações residenciais,

comerciais e industriais onde a alimentação fornecida pela concessionária de energia é do tipo TN-C. A instalação interna é então convertida para TN-S a partir do ponto de entrada ou do QDP, para atender aos requisitos de segurança da NBR 5410.³

O esquema TN-C-S é, na prática construtiva atual, a forma mais usual de se obter os benefícios de segurança inerentes ao esquema TN-S em instalações que são alimentadas por redes de distribuição pública que ainda utilizam o sistema TN-C. Ele representa uma solução de transição necessária e, em muitos casos, um compromisso técnico entre o sistema de aterramento adotado pela concessionária de energia e as exigências normativas de segurança para as instalações internas da edificação. Muitas redes de distribuição são historicamente TN-C por razões de custo e simplicidade construtiva. A NBR 5410, ao visar um nível de segurança mais elevado dentro das unidades consumidoras, efetivamente "força" a transição para o esquema TN-S internamente, e o TN-C-S é o meio pelo qual essa transição é realizada.³ Isso permite que a instalação interna se beneficie da importante separação entre o condutor neutro e o condutor de proteção, viabilizando, entre outras coisas, a correta aplicação de Dispositivos Diferenciais-Residuais (DRs) e minimizando os riscos associados ao condutor PEN.

● 3.4. Esquema IT (Isolado-Terra)

- **Características:** No esquema IT, todas as partes vivas do sistema de alimentação são isoladas da terra, ou um ponto da alimentação (geralmente o neutro de um transformador de isolação dedicado) é aterrado através de uma impedância de valor intencionalmente elevado. As massas metálicas dos equipamentos da instalação são aterradas, seja conectando-as ao mesmo eletrodo de aterramento da alimentação (caso este exista e seja um aterramento por impedância) ou, mais comumente, a um eletrodo ou sistema de eletrodos de aterramento próprio e independente.³ *Nota: A afirmação em ¹⁸ de que a NBR 5410 exige TT é uma simplificação excessiva, pois o esquema IT é permitido e detalhadamente abordado pela norma para aplicações específicas.*
- **Comportamento em Primeira Falta:**
 - Uma única falta à terra (contato de uma fase com uma massa ou diretamente com a terra) resulta em uma corrente de falta (I_d) de valor muito pequeno. Isso se deve à alta impedância do percurso de falta (no caso de alimentação aterrada por impedância) ou ao isolamento da fonte em relação à terra.¹⁰
 - Essa corrente de primeira falta é geralmente insuficiente para causar tensões de contato perigosas ou para provocar a atuação de dispositivos de proteção contra sobrecorrente.³

- Consequentemente, o **seccionamento automático da alimentação não é imperativo na ocorrência de uma primeira falta**, desde que a condição $RA \cdot Id \leq UL$ seja satisfeita, onde RA é a resistência do aterramento das massas e UL é a tensão de contato limite.³
- **Dispositivo Supervisor de Isolamento (DSI) / Controlador Permanente de Isolamento (CPI):**
 - A NBR 5410 torna **obrigatória** a instalação de um DSI (também conhecido como CPI ou, em inglês, IMD - Insulation Monitoring Device) em sistemas IT. A função deste dispositivo é monitorar continuamente o nível de isolamento da instalação em relação à terra e sinalizar (geralmente por alarme sonoro e/ou visual) a ocorrência de uma primeira falta. Isso permite que a equipe de manutenção localize e corrija a falha de forma programada, sem a interrupção imediata do fornecimento de energia para as cargas alimentadas pelo sistema IT.³
- **Comportamento em Segunda Falta:**
 - Se uma segunda falta à terra ocorrer em uma fase diferente da primeira (ou no neutro, se distribuído e não aterrado), antes que a primeira falha tenha sido sanada, a situação muda drasticamente. O comportamento do sistema IT, nesse caso, assemelha-se ao de um esquema TN ou TT, dependendo de como as massas dos equipamentos estão aterradas (se todas interligadas a um único sistema de aterramento ou aterradas individualmente/em grupos).³
 - Nesta condição de dupla falta, as correntes de falta podem atingir valores elevados, e o seccionamento automático da alimentação torna-se necessário e deve seguir as regras de proteção aplicáveis ao esquema TN ou TT. Podem ser utilizados dispositivos de proteção contra sobrecorrente e/ou Dispositivos Diferenciais-Residuais (DRs) para garantir a interrupção segura do circuito.³
- **Vantagens:**
 - **Alta Continuidade de Serviço:** Esta é a principal e mais significativa vantagem do esquema IT. A capacidade de manter a operação normal mesmo após a ocorrência de uma primeira falta à terra é crucial em aplicações onde a interrupção do fornecimento de energia pode ter consequências graves, como riscos à vida, perdas de produção significativas ou comprometimento de processos críticos.⁵
- **Desvantagens:**
 - **Maior Complexidade e Custo:** A implementação de um sistema IT geralmente envolve custos mais elevados de instalação e manutenção, devido à necessidade de transformadores de isolação, Dispositivos

Supervisores de Isolamento (DSI), e, frequentemente, um sistema de aterramento e equipotencialização mais elaborado.¹⁶

- **Necessidade de Pessoal Qualificado:** A operação e manutenção de sistemas IT requerem pessoal técnico com conhecimento especializado para monitorar o DSI, localizar e corrigir as falhas de isolamento de forma eficaz e segura.¹²
 - **Risco na Segunda Falta:** A dificuldade em detectar e localizar a primeira falta, caso o DSI não seja eficaz ou a manutenção seja negligente, pode aumentar a probabilidade de ocorrência de uma segunda falta. Se isso acontecer, as consequências podem ser severas se a proteção para a segunda falta não estiver adequadamente dimensionada.²⁰
 - **Sobretensões:** Sistemas IT podem ser mais suscetíveis a sobretensões internas se não houver um controle adequado da impedância de aterramento da fonte (quando aplicável) e se não forem tomadas medidas para limitar sobretensões transitórias.
- **Aplicações Críticas:**
- **Hospitais (Salas Cirúrgicas, Unidades de Terapia Intensiva - UTIs, e outros locais classificados como Grupo 2 pela NBR 13534):** O esquema IT (denominado IT Médico) é prescrito pela NBR 13534 para a alimentação de equipamentos eletromédicos utilizados em procedimentos invasivos ou de suporte à vida, onde a interrupção da energia elétrica devido a uma primeira falta poderia ter consequências fatais para o paciente.¹⁷
 - **Indústrias com Processos Contínuos Críticos:** Em setores como químico, petroquímico, siderúrgico, papel e celulose, onde paradas não programadas de produção podem gerar grandes prejuízos financeiros, danos a equipamentos ou riscos ambientais, o esquema IT é uma escolha frequente para garantir a continuidade operacional.¹⁰
 - **Data Centers:** Em centros de processamento de dados, onde a disponibilidade contínua dos sistemas de TI é essencial para as operações de negócios, o esquema IT pode ser considerado para alimentar cargas críticas, embora outras soluções como sistemas TN-S com alta redundância também sejam comuns (discutido em mais detalhe na seção 7.2).

O esquema IT apresenta um interessante paradoxo em termos de segurança. Por um lado, ele oferece um nível muito elevado de continuidade de serviço na ocorrência de uma primeira falta à terra, o que, em si, pode ser considerado uma forma de segurança operacional, especialmente em ambientes críticos. No entanto, essa mesma característica – o não desligamento automático na primeira

falta – impõe a necessidade de um sistema de monitoramento de isolamento (DSI) extremamente confiável e de uma equipe de manutenção altamente qualificada e diligente. A segurança do sistema IT na primeira falta é, em grande parte, passiva, devido à alta impedância que limita a corrente de falta. Contudo, a segurança continuada e a prevenção de uma segunda falta (que pode ser muito mais perigosa) dependem ativamente da detecção e correção da primeira falha, orientada pelo DSI.³ Se houver falha no monitoramento ou negligência na correção da primeira avaria, a ocorrência de uma segunda falta³ pode transformar o sistema IT em um cenário potencialmente mais perigoso do que um esquema TN ou TT, pois as correntes de falta podem ser elevadas e o comportamento do sistema pode ser menos previsível se não for meticulosamente projetado para essa eventualidade. Essencialmente, o esquema IT troca a simplicidade da proteção por seccionamento automático na primeira falta (como ocorre no esquema TT com DR) pela complexidade e exigência de um monitoramento constante e uma manutenção proativa e especializada.

- **3.5. Análise Comparativa dos Esquemas de Aterramento**

Para facilitar a compreensão das diferenças, vantagens, desvantagens e aplicações de cada esquema de aterramento, a tabela a seguir apresenta uma análise comparativa detalhada. Esta consolidação é de grande valor para eletricitistas e técnicos, pois permite uma visualização rápida das características mais críticas de cada sistema, auxiliando na identificação correta em campo e na compreensão dos requisitos específicos de segurança e proteção.

Tabela Comparativa Detalhada dos Esquemas de Aterramento (NBR 5410)

Característica	Esquema TT	Esquema TN-S	Esquema TN-C	Esquema TN-C-S	Esquema IT
Ligação Neutro Fonte	Direto à terra (RB)	Direto à terra	Direto à terra	Direto à terra	Isolado da terra ou aterrado por alta impedância
Ligação Massas	Eletrodo próprio (RA), distinto de RB	Ligadas ao PE, que é conectado ao ponto de aterramento da fonte	Ligadas ao PEN, que é o neutro aterrado da fonte	Parte PEN (como TN-C), parte PE separado (como TN-S) após ponto de separação	Eletrodo próprio ou comum ao da alimentação (se por impedância)

Condutor de Proteção (PE)	PE dedicado	PE dedicado, distinto do Neutro	Função combinada com Neutro (PEN)	PEN na parte comum, PE distinto do Neutro após separação	PE dedicado
Corrente 1ª Falta Fase-Massa	Baixa/Média (limitada por RA+RB)	Alta (curto-circuito Fase-PE)	Alta (curto-circuito Fase-PEN)	Alta (curto-circuito Fase-PEN ou Fase-PE)	Muito Baixa (limitada por impedância de isolamento/a terramento)
Dispositivo Proteção Principal	DR Obrigatório	Disjuntor/Fusível (Sobrecorrente). DR pode ser complementar/obrigatório.	Disjuntor/Fusível (Sobrecorrente). DR não aplicável para função principal.	Disjuntor/Fusível. DR aplicável na parte TN-S.	DSI (1ª falta). Disjuntor/Fusível/DR (2ª falta, conforme TN ou TT).
Continuidade de Serviço	Baixa (desliga na 1ª falta significativa)	Baixa (desliga na 1ª falta)	Baixa (desliga na 1ª falta)	Baixa (desliga na 1ª falta)	Alta (não desliga na 1ª falta)
Segurança	Boa (com DR e RA baixo)	Muito Boa	Ruim (risco de interrupção do PEN)	Boa (na parte TN-S), Ruim (na parte TN-C)	Muito Boa (1ª falta), depende da ação para 2ª falta.
Custo Típico	Médio	Médio/Alto	Baixo	Médio	Alto
Aplicações Comuns	Residencial, comercial, rural, locais com risco de explosão. ¹⁷	Predial, comercial, industrial. ⁶	Redes de distribuição antigas (não recomendadas para consumidor). ⁶	Transição de rede TN-C para instalação interna TN-S. ³	Hospitais (Grupo 2), indústrias críticas, data centers. ¹⁰

Principais Vantagens	Independência do aterramento da fonte. ⁵	Caminho de falta claro e dedicado. ¹⁹	Economia de condutor. ⁶	Combina economia e segurança (parcial). ¹²	Alta continuidade de serviço. ⁵
Principais Desvantagens	Depende do DR e RA. ³	Custo (5º fio). Risco se PE interrompido. ¹²	Perigoso se PEN interrompido. Não permite DR. ³	Complexidade e na separação. Risco na parte TN-C.	Custo, complexidade, exige DSI e manutenção rigorosa. ¹²
Referências NBR 5410	4.2.2.2.2; 5.1.2.2.4.3 ³	4.2.2.2.1 (Fig.1); 5.1.2.2.4.2 ³	4.2.2.2.1 (Fig.3); 5.1.2.2.4.2 ³	4.2.2.2.1 (Fig.2); 5.1.2.2.4.2 ³	4.2.2.2.3 (Fig.5); 5.1.2.2.4.4 ³

Fonte: Compilação baseada em.[3, 5, 6, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20]

Esta tabela comparativa é uma ferramenta de consulta rápida e eficaz, pois sintetiza as informações dispersas em diversas fontes e seções normativas. Para o profissional de campo, ela oferece uma base sólida para a tomada de decisões e para a correta aplicação dos preceitos de segurança inerentes a cada esquema de aterramento.

4. Equipotencialização: A Base da Segurança Elétrica (NBR 5410)

A equipotencialização é um conceito fundamental e uma medida de proteção essencial em instalações elétricas, intrinsecamente ligada à eficácia do sistema de aterramento. Seu objetivo principal é minimizar os riscos de choque elétrico por contato indireto.

• 4.1. Conceito e Objetivos da Equipotencialização

- **Definição:** A equipotencialização consiste na interligação elétrica de todas as massas de equipamentos e de todos os elementos condutores estranhos à instalação (como tubulações metálicas de água, gás, esgoto, estruturas

metálicas da edificação, etc.) através de condutores de proteção, de modo a igualar seus potenciais elétricos. O objetivo é evitar o aparecimento de diferenças de potencial (DDP) perigosas entre quaisquer duas partes condutoras que possam ser tocadas simultaneamente por uma pessoa, especialmente durante a ocorrência de uma falta à terra.³

- **Objetivos Principais (conforme NBR 5410):**
 - **Garantir a proteção contra choques elétricos por contato indireto:** Ao manter todas as partes condutoras acessíveis no mesmo potencial (ou em potenciais muito próximos), reduz-se drasticamente a corrente que poderia circular através do corpo de uma pessoa em caso de contato.³
 - **Minimizar os riscos de tensões de toque perigosas:** A tensão de toque é a DDP à qual uma pessoa pode estar submetida. A equipotencialização visa manter essa tensão abaixo dos limites considerados seguros.
 - **Prover um caminho de baixa impedância para as correntes de falta:** Ao interligar as massas ao sistema de aterramento, a equipotencialização ajuda a criar um percurso de falta de baixa impedância, o que é crucial para a atuação rápida e eficaz dos dispositivos de proteção (disjuntores, fusíveis).
 - **Reduzir os efeitos de interferências eletromagnéticas (EMI):** Em algumas situações, a equipotencialização pode contribuir para a melhoria da compatibilidade eletromagnética, reduzindo ruídos e interferências em sistemas eletrônicos sensíveis.³

A equipotencialização pode ser entendida como um processo de "nivelamento" de potenciais elétricos. Ao conectar eletricamente todas as partes metálicas acessíveis de uma instalação, garante-se que, se uma dessas partes for acidentalmente energizada devido a uma falha, todas as outras partes conectadas a ela elevem seu potencial elétrico de forma simultânea e para um valor muito próximo. Isso reduz significativamente a diferença de potencial (DDP) à qual uma pessoa poderia ser exposta ao tocar, por exemplo, a carcaça de um equipamento defeituoso e uma tubulação metálica próxima. Como o choque elétrico é causado pela passagem de corrente elétrica através do corpo, e essa corrente é proporcional à DDP aplicada, a minimização da DDP pela equipotencialização é uma estratégia de segurança fundamental.³

● **4.2. Ligação Equipotencial Principal (LEP/BEP)**

- **Definição e Componentes (NBR 5410 - item 6.4.2.1):** A Ligação Equipotencial Principal (LEP) deve ser realizada em cada edificação. Ela consiste na interligação, através do Barramento de Equipotencialização Principal (BEP), dos seguintes elementos condutivos³:
 - O condutor de proteção (PE) principal da instalação.

- O condutor de aterramento (que efetivamente liga o BEP ao eletrodo ou sistema de eletrodos de aterramento).
- As tubulações metálicas de entrada na edificação (por exemplo, de água, gás combustível, esgoto, sistemas de aquecimento central e ar condicionado).
- Os elementos metálicos principais da estrutura da edificação (como as ferragens de armação do concreto armado e as estruturas metálicas portantes).
- O condutor neutro da alimentação, nas condições específicas de cada esquema de aterramento (por exemplo, no esquema TN, o condutor PEN é ligado ao BEP, e dele derivam os condutores N e PE para a instalação interna; ou o condutor N, se já separado da função de proteção, pode ser referenciado ao BEP em certas configurações).
- As blindagens e capas metálicas de cabos de energia e de sinal que entram na edificação, bem como os condutos metálicos dessas linhas.
- **Função:** A LEP tem como função primordial estabelecer um potencial de referência único e comum para todas as principais partes condutoras da edificação, conectando-as solidamente ao sistema de aterramento. Isso cria uma zona equipotencial abrangente.³
- **Execução:** O BEP deve ser instalado em local acessível, permitindo a inspeção visual das conexões e a eventual desconexão individual dos condutores para fins de teste e medição.³
- **Seção do Condutor de Equipotencialização Principal:** A NBR 5410 estabelece que a seção do condutor de equipotencialização principal deve ser, no mínimo, 6mm² para cobre ou 10mm² para alumínio. Além disso, sua seção não deve ser inferior à metade da seção do maior condutor de proteção da instalação, estando, no entanto, limitada a um máximo de 25mm² para cobre ou 35mm² para alumínio.³

A Ligação Equipotencial Principal (LEP) pode ser visualizada como o "escudo primário" de equipotencialização da edificação. Ao criar essa interligação abrangente, ela estabelece uma espécie de "gaiola de Faraday" imperfeita em termos de potencial elétrico para toda a estrutura. Isso garante que grandes sistemas metálicos, como tubulações e a própria estrutura do edifício, não apresentem potenciais perigosamente diferentes em relação ao sistema de aterramento e às massas dos equipamentos elétricos. A LEP minimiza a probabilidade de uma pessoa ser submetida a uma diferença de potencial elevada ao tocar simultaneamente, por exemplo, uma torneira metálica (conectada à tubulação de água) e a carcaça de um equipamento elétrico que apresentou uma falha de isolamento, pois ambos os elementos estarão referenciados ao mesmo potencial através do BEP.³

• 4.3. Ligação Equipotencial Suplementar (LES/BEL)

- **Definição e Quando é Necessária (NBR 5410 - itens 5.1.3.1 e 6.4.2.2):** A Ligação Equipotencial Suplementar (LES) é uma medida de proteção adicional, realizada em locais específicos ou em situações particulares onde a proteção normalmente provida pelo seccionamento automático da alimentação e/ou pela Ligação Equipotencial Principal (LEP) pode não ser suficiente para garantir a segurança contra choques elétricos.³ A LES é exigida, por exemplo:
 - Em locais que apresentam maior risco de choque elétrico, como banheiros (especialmente em volumes 0, 1 e 2 ao redor de banheiras e chuveiros), cozinhas, lavanderias, áreas externas e outros locais onde a umidade é presente ou onde o corpo humano pode ter sua resistência elétrica diminuída.
 - Em locais que abrigam equipamentos particularmente sensíveis ou que apresentam riscos específicos.
 - Quando os tempos máximos de seccionamento automático da alimentação, definidos pela norma para proteção contra contatos indiretos, não podem ser garantidos.
- **Componentes:** A LES deve abranger e interligar todos os elementos condutores que são simultaneamente acessíveis *dentro de uma área ou volume restrito*. Isso inclui as massas dos equipamentos elétricos fixos localizados nessa área, os elementos condutores estranhos à instalação (como tubulações metálicas, esquadrias metálicas, ralos metálicos, etc.) e, inclusive, as armaduras de aço do concreto armado, se acessíveis ou se puderem influenciar o potencial local.³
- **Função:** O objetivo da LES é reforçar a equipotencialidade em um volume delimitado, garantindo que todos os elementos condutores próximos e simultaneamente acessíveis estejam no mesmo potencial elétrico, ou em potenciais muito próximos, mesmo que ocorra uma falha.³
- **Execução:** A LES pode utilizar um Barramento de Equipotencialização Local (BEL) como ponto de convergência das conexões dentro da área protegida. Os condutores de proteção (PE) de todas as tomadas de corrente e dos equipamentos fixos situados na área devem ser conectados a essa equipotencialização suplementar.
- **Verificação da Efetividade:** A eficácia da LES deve ser verificada. A NBR 5410 estabelece que a resistência (R) da ligação equipotencial entre qualquer massa de equipamento e qualquer elemento condutor estranho simultaneamente acessível, ou entre quaisquer duas massas simultaneamente

acessíveis, deve atender à condição $R \leq UL/I_a$, onde UL é a tensão de contato limite e I_a é a corrente de atuação do dispositivo de proteção do circuito em um tempo especificado.³

- **Seção dos Condutores de LES:** A seção mínima para os condutores de equipotencialização suplementar é de 2,5mm² para cobre, se o condutor possuir proteção mecânica, ou 4mm² para cobre, se não possuir proteção mecânica contra danos físicos.³

Enquanto a Ligação Equipotencial Principal (LEP) se ocupa da equipotencialidade em um nível macro, abrangendo toda a edificação, a Ligação Equipotencial Suplementar (LES) atua em um nível micro, focando em zonas específicas onde o risco de choque elétrico é intrinsecamente mais elevado. A LES cria "ilhas" de segurança reforçada dentro da instalação. Isso é particularmente crítico em locais úmidos, como banheiros³, onde a resistência elétrica do corpo humano diminui significativamente devido à pele molhada, tornando a pessoa mais vulnerável a correntes elétricas menores. Também é vital em locais onde o contato simultâneo com múltiplas partes condutoras é mais provável. Ao garantir que todos esses elementos próximos estejam no mesmo potencial, a LES minimiza drasticamente a possibilidade de uma corrente perigosa fluir através de uma pessoa, mesmo que haja uma pequena tensão residual no sistema devido a uma falha.

● 4.4. A Sinergia entre Equipotencialização e os Sistemas de Aterramento

A equipotencialização (tanto a principal quanto a suplementar) e o seccionamento automático da alimentação são, conforme a NBR 5410, medidas de proteção complementares e indissociáveis na prevenção de choques elétricos por contato indireto.³ Elas trabalham em sinergia:

- A equipotencialização tem o papel de garantir que, na ocorrência de uma falta que energize uma massa, as tensões de contato que possam surgir entre essa massa e outras partes condutoras acessíveis sejam minimizadas a valores seguros.
- O seccionamento automático da alimentação, provido por dispositivos de proteção como disjuntores ou DRs, tem o papel de interromper rapidamente o fornecimento de energia ao circuito defeituoso, especialmente se, apesar da equipotencialização, as tensões de contato ainda puderem atingir níveis perigosos ou se a falta persistir.³

A forma como essa sinergia se manifesta depende do esquema de aterramento adotado:

- **Esquema TT:** A equipotencialização interna da edificação (LEP e LES), que

conecta todas as massas e elementos condutores ao eletrodo de aterramento local (RA), é vital. O Dispositivo Diferencial-Residual (DR) atua detectando a corrente de fuga que retorna à fonte através deste aterramento RA e do aterramento da fonte RB.³

- **Esquema TN:** A LEP conecta todas as massas ao condutor de proteção (PE ou PEN). Este condutor, por sua vez, é ligado diretamente ao ponto de neutro aterrado da fonte. Essa configuração cria o caminho de baixa impedância necessário para que a corrente de curto-circuito (falta fase-massa) seja elevada o suficiente para provocar a atuação rápida dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente.³
- **Esquema IT:** A equipotencialização de todas as massas da instalação é fundamental. Na ocorrência de uma primeira falta, ela ajuda a minimizar as diferenças de potencial. Em caso de uma segunda falta, a equipotencialização, juntamente com o aterramento das massas, permite que os dispositivos de proteção atuem de forma similar ao que ocorreria em um esquema TN ou TT, dependendo da configuração específica do aterramento das massas no sistema IT.³

É importante ressaltar um aspecto adicional da sinergia: além de minimizar diretamente as tensões de contato perigosas, uma equipotencialização bem projetada e executada, ao contribuir para a criação de um caminho de baixa impedância para a corrente de falta (especialmente evidente no esquema TN), *facilita e garante* a atuação rápida e eficaz dos dispositivos de proteção (disjuntores, fusíveis). Sem uma equipotencialização adequada que conecte solidamente a massa do equipamento defeituoso ao sistema de aterramento e ao condutor de proteção, a impedância total do percurso da corrente de falta poderia ser excessivamente alta. Uma impedância de falta elevada resultaria em uma corrente de falta de menor intensidade, que poderia não ser suficiente para sensibilizar o disjuntor ou fusível dentro do tempo máximo de seccionamento exigido pela NBR 5410 (conforme Tabela 25 da norma, citada em ³), comprometendo severamente a segurança da instalação. Assim, a equipotencialização não apenas protege diretamente, mas também habilita a proteção por seccionamento automático.

5. Principais Requisitos da ABNT NBR 5410 para Sistemas de Aterramento

A ABNT NBR 5410 ("Instalações elétricas de baixa tensão") é a norma fundamental que estabelece as condições mínimas para projeto, execução, verificação e manutenção de instalações elétricas de baixa tensão, incluindo requisitos detalhados para sistemas de aterramento e equipotencialização, visando primordialmente a

segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

- **5.1. Visão Geral dos Requisitos de Proteção para Garantir Segurança (Seção 5.1 da NBR 5410)**

A Seção 5.1 da NBR 5410 estabelece os princípios e medidas de proteção para garantir a segurança.

- **Princípio Fundamental da Proteção contra Choques Elétricos:** A norma postula que as partes vivas perigosas das instalações não devem ser acessíveis, e que as massas ou partes condutivas acessíveis não devem oferecer perigo, seja em condições normais de operação, seja sob uma condição de falta que possa torná-las acidentalmente vivas.³
- **Proteção Básica (Proteção contra contatos diretos):** Consiste em medidas destinadas a impedir o contato com partes vivas perigosas em condições normais. Isso é tipicamente alcançado através da isolação adequada das partes vivas (uso de materiais isolantes) e/ou pelo uso de barreiras ou invólucros que impeçam o acesso físico a essas partes.³
- **Proteção Supletiva (Proteção contra contatos indiretos):** Consiste em medidas destinadas a proteger contra os perigos que podem surgir do contato com massas que se tornaram vivas devido a uma falha de isolamento. A NBR 5410 estabelece que, como regra geral, a proteção supletiva deve ser assegurada conjuntamente pela **equipotencialização** e pelo **seccionamento automático da alimentação**.³
- **Proteção Adicional:** Em situações ou locais que apresentam um risco de choque elétrico particularmente elevado, ou onde as consequências de um choque podem ser mais graves, a norma exige a aplicação de medidas de proteção adicionais. Exemplos incluem locais contendo banheira ou chuveiro, áreas externas, ou circuitos de tomadas que possam alimentar equipamentos ao ar livre. As proteções adicionais comumente especificadas são o uso de **Dispositivos Diferenciais-Residuais (DRs) de alta sensibilidade** (com corrente diferencial-residual nominal $I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$) e/ou a implementação de uma **ligação equipotencial suplementar (LES)**.³

A filosofia de proteção adotada pela NBR 5410 é baseada em uma abordagem em múltiplas camadas ou níveis de defesa. Isso significa que a segurança contra choques elétricos não deve depender de uma única medida isolada, mas sim da combinação eficaz e coordenada de várias medidas de proteção. Nenhuma medida de proteção é considerada infalível por si só: a isolação básica pode falhar com o tempo ou devido a danos; barreiras e invólucros podem ser

removidos ou danificados. Reconhecendo essa realidade, a NBR 5410³ exige a aplicação conjunta da proteção básica (com o objetivo de prevenir o contato inicial com partes perigosas) e da proteção supletiva (com o objetivo de mitigar as consequências caso uma massa se torne acidentalmente energizada). A proteção adicional é então requisitada para cenários onde o risco residual, mesmo com as proteções básica e supletiva, ainda é considerado inaceitavelmente alto.

- **5.2. Dimensionamento e Instalação de Condutores de Proteção (PE) (Seção 6.4.3 da NBR 5410)**

O condutor de proteção (PE) é um elemento chave na garantia da segurança.

- **Presença Obrigatória:** A NBR 5410 é categórica ao afirmar que todo circuito elétrico deve dispor de condutor de proteção em toda a sua extensão.³
- **Identificação:** Para evitar erros e garantir a correta identificação, o condutor de proteção deve ser marcado pela dupla coloração verde-e-amarela ou, alternativamente, apenas pela cor verde em toda a sua extensão.⁹
- **Seção Mínima:** O dimensionamento da seção transversal do condutor de proteção (SPE) é crucial para que ele possa suportar as correntes de falta sem se danificar. A NBR 5410 oferece dois métodos:
 - **Cálculo pela Tabela 36 (ou fórmula adiabática):** $S=kl^2 \cdot t$ ou $S=kl \cdot t$ (verificar a fórmula exata na norma, pois há variações nos snippets).³
 - **Método Simplificado (Tabela 58 da NBR 5410):** Este método, muito prático para o dia a dia, relaciona a seção do condutor de proteção (SPE) com a seção do(s) condutor(es) de fase (SF) do circuito. A tabela abaixo resume essa relação:

Tabela de Dimensionamento Simplificado do Condutor de Proteção (PE) Conforme Tabela 58 da NBR 5410:2004

Seção do Condutor Fase (SF) (mm ²)	Seção do Condutor de Proteção (SPE) (mm ²)
SF ≤ 16	SPE = SF
25 ≤ SF ≤ 35	SPE = 16
SF > 35	SPE = SF/2

Fonte: [9, 10] Baseado na Tabela 58 da ABNT NBR 5410:2004.

Esta tabela é uma ferramenta indispensável para eletricitistas e técnicos, pois oferece um método rápido, prático e normativo para o dimensionamento do condutor de proteção na grande maioria das situações encontradas em instalações de baixa tensão, dispensando, em muitos casos, a necessidade de cálculos complexos de corrente de curto-circuito. Sua inclusão e compreensão são vitais para a aplicação correta da norma.

* **Materiais Não Permitidos como PE:** Conforme detalhado anteriormente na Seção 2.3, certos elementos metálicos da edificação ou de outras utilidades não podem ser utilizados como condutores de proteção. [7, 9]

* **Continuidade Elétrica:** É fundamental que o condutor de proteção seja contínuo ao longo de todo o circuito. A NBR 5410 proíbe a inserção de dispositivos de seccionamento (como fusíveis ou polos de disjuntores unipolares) no percurso do condutor de proteção, pois sua interrupção eliminaria a proteção contra contatos indiretos. [3]

A lógica por trás das regras de dimensionamento do condutor de proteção da Tabela 58 da NBR 5410 não é arbitrária, mas baseada em considerações de capacidade térmica e coordenação com os dispositivos de proteção. Para seções de condutores de fase menores ($SF \leq 16\text{mm}^2$), a norma exige que o condutor de proteção tenha a mesma seção da fase ($SPE = SF$). Isso se deve ao fato de que, em caso de um curto-circuito franco, a corrente de falta pode ser significativamente elevada em relação à capacidade do condutor, e o condutor de proteção precisa ter uma capacidade térmica similar à do condutor de fase para não se fundir ou degradar antes que o dispositivo de proteção do circuito (disjuntor ou fusível) atue para interromper a falta. Para seções de fase maiores, a relação muda ($SPE = 16\text{mm}^2$ para fases de 25mm^2 e 35mm^2 , e $SPE = SF/2$ para fases maiores que 35mm^2). Essa alteração na proporção ocorre porque se assume que, em circuitos com condutores de fase de maior seção, os dispositivos de proteção associados são projetados para atuar mais rapidamente para correntes de curto-circuito elevadas, ou que a própria impedância do circuito (incluindo a fonte) limitará a energia total ($I^2 \cdot t$) que o condutor de proteção precisará suportar durante a falta. Assim, uma seção relativamente menor para o PE (dentro dos limites estabelecidos pela tabela) ainda seria capaz de conduzir a corrente de falta com segurança até a atuação da proteção.

- **5.3. Aterramento Funcional e Combinado (Seções 6.4.6 e 6.4.7 da NBR 5410)**

- **Aterramento Funcional:** É o aterramento de um ponto de um sistema, instalação ou equipamento realizado por razões de funcionamento, e não primariamente para garantir a proteção contra choques elétricos. Exemplos incluem o aterramento para fornecer um potencial de referência estável para sistemas eletrônicos, para reduzir ruídos e interferências eletromagnéticas, ou para o correto funcionamento de certos tipos de equipamentos de telecomunicações ou medição.³
- **Requisitos para Aterramento Funcional:** Se um sistema de aterramento funcional também precisar desempenhar um papel na proteção contra choques elétricos (por exemplo, se a massa de um equipamento aterrado funcionalmente puder se tornar viva em caso de falha), ele deve, adicionalmente, atender a todos os requisitos aplicáveis aos condutores de proteção e ao aterramento de proteção definidos na NBR 5410.³
- **Aterramento Combinado (Funcional e de Proteção):** Ocorre quando um único sistema de aterramento é utilizado para atender simultaneamente a finalidades de proteção contra choques elétricos e a finalidades funcionais. Nesses casos, o sistema de aterramento combinado deve satisfazer as prescrições mais rigorosas aplicáveis a ambas as funções.³

É de crucial importância que o técnico ou eletricista compreenda claramente a distinção entre as finalidades do aterramento. Um aterramento executado exclusivamente para fins funcionais, como a simples redução de ruído em um equipamento eletrônico, pode não ser adequado ou suficiente para garantir a proteção contra choques elétricos. Por exemplo, um aterramento funcional pode ter uma resistência de aterramento mais elevada, que seja aceitável para a referência de sinal do equipamento, mas que seria inadequada para garantir a atuação rápida de um disjuntor em caso de uma falta à terra na carcaça desse mesmo equipamento. A NBR 5410³ é explícita ao determinar que, se houver qualquer possibilidade de o aterramento funcional também estar envolvido na proteção contra contatos indiretos, os requisitos de aterramento de proteção devem prevalecer ou ser integralmente combinados.

- **5.4. Outras Normas ABNT Relevantes para Aterramento**

Embora a NBR 5410 seja a norma central para instalações elétricas de baixa tensão, diversos outros documentos normativos da ABNT complementam e detalham aspectos específicos do aterramento:

- **ABNT NBR 13534:** "Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde – Requisitos para segurança." Esta norma é fundamental para projetos e execuções em hospitais, clínicas e outros locais de assistência à saúde. Ela detalha, por exemplo, a obrigatoriedade e as características do esquema IT (IT Médico) e os rigorosos requisitos de equipotencialização para salas cirúrgicas e UTIs.²⁰
- **ABNT NBR 15749:** "Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento." Esta norma fornece os procedimentos e métodos para a correta medição da resistência de aterramento e para a avaliação de potenciais de passo e toque, sendo um guia essencial para a verificação da eficácia dos sistemas de aterramento.⁵
- **ABNT NBR 5419 (Partes 1 a 4):** "Proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)." Esta série de normas trata do projeto, instalação, inspeção e manutenção de sistemas de proteção contra raios. Um aspecto crucial é a exigência de interligação do sistema de aterramento do SPDA com o sistema de aterramento geral da edificação, formando um sistema único e equipotencializado.⁷
- **IEEE Std 81:** "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System." Embora seja uma norma internacional (do Institute of Electrical and Electronics Engineers), é frequentemente citada e utilizada como referência técnica de alta qualidade para os métodos de medição de resistividade do solo e de parâmetros de sistemas de aterramento.⁵

As diversas normas técnicas relacionadas ao aterramento não devem ser vistas como documentos isolados, mas sim como partes de um sistema normativo coeso e interconectado. A NBR 54

Referências citadas

1. Noções básicas sobre aterramento | Fluke, acessado em maio 27, 2025, <https://www.fluke.com/pt-br/saiba-mais/blog/aterramento/nocoes-basicas-sobre-aterramento>
2. O que é aterramento elétrico e para que serve? | RDI Bender, acessado em maio 27, 2025, <https://www.rdibender.com.br/noticias/2022/06/o-que-e-aterramento-eletrico-e-para-que-serve>
3. docente.ifrn.edu.br, acessado em maio 27, 2025, <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>
4. O que é o Condutor de proteção | Glossário | Goldenergy, acessado em maio 27, 2025, <https://goldenergy.pt/glossario/condutor-de-protecao/>

5. ATERRAMENTO - UNESP Ilha Solteira, acessado em maio 27, 2025, <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aterramento.pdf>
6. www.osetoreletrico.com.br, acessado em maio 27, 2025, https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2010/07/ed53_fasc_seguranca_trabalho_capVI.pdf
7. www.osetoreletrico.com.br, acessado em maio 27, 2025, https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Fasciculo_Linhas_el%C3%A9tricas_para_baixa_tens%C3%A3o.pdf
8. www.sabesp.com.br, acessado em maio 27, 2025, <https://www.sabesp.com.br/assets/pdf/servicos/para-empresa/sabesp-manual-orientador-SPDA.pdf>
9. www.udesc.br, acessado em maio 27, 2025, https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/projeto_residencial_3_v5_2_3_17218279776024_9731.pdf
10. br.prysmian.com, acessado em maio 27, 2025, https://br.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Manual_Instalacoes_Eletricas.pdf
11. Tipos de aterramentos :: ABR.engenhariaelétrica, acessado em maio 27, 2025, <https://abr-engenhariaeletrica.webnode.page/tipos-de-aterramentos/>
12. Tipos de Aterramento - Engenheiro Pablo Guimarães, acessado em maio 27, 2025, <https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/post/tipos-de-aterramento>
13. Barramentos de Equipotencialização BEP/BEL - Termotécnica Para ..., acessado em maio 27, 2025, <https://tel.com.br/product/bep-bel/>
14. Porque FAZEMOS mais ATERRAMENTO TN do que o TT em ..., acessado em maio 27, 2025, <https://www.cursonr10.com/porque-fazemos-mais-aterramento-tn-do-que-o-tt-em-nossas-obras/>
15. Aterramento TT Unico jeito certo de ligar - Engehall, acessado em maio 27, 2025, <https://engehall.com.br/aterramento-tt/>
16. Aterramento Elétrico: Veja os Tipos TT, TN, IT Para Instalações, acessado em maio 27, 2025, <https://betaeducacao.com.br/quais-sao-os-tipos-de-aterramentos-eletricos/>
17. parc.ipp.pt, acessado em maio 27, 2025, <https://parc.ipp.pt/index.php/neutroaterra/article/download/4423/2180>
18. NBR 5410: o que diz, onde se aplica e principais exigências, acessado em maio 27, 2025, <https://www.produttivo.com.br/blog/nbr-5410/>
19. Postagem: Aterramento TN-S - Engecia, acessado em maio 27, 2025, <https://www.engenhariaecia.eng.br/post/aterramento-tn-s>
20. repositorio.ufsc.br, acessado em maio 27, 2025, <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/111866/49155.pdf?se>
21. A medição de resistência de sistemas de aterramento - Target Normas, acessado em maio 27, 2025, <https://www.normas.com.br/visualizar/artigo-tecnico/4412/a-medicao-de-resistencia-de-sistemas-de-aterramento-e-de-potenciais-no-solo>

22. atenaeditora.com.br, acessado em maio 27, 2025,
<https://atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/93467>
23. www.osestoreletrico.com.br, acessado em maio 27, 2025,
https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/E_d65_fasc_aterramentos_cap6.pdf
24. ABNT NBR 15749 NBR15749 Medição de resistência de aterramento e de - Target, acessado em maio 27, 2025,
<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/41231/nbr15749-medicao-d-e-resistencia-de-aterramento-e-de-potenciais-na-superficie-do-solo-em-sistemas-de-aterramento>
25. MATHEUS PINTO COSTA MALHAS DE ATERRAMENTO: COMPARAÇÃO ENTRE IMPLANTADA E SIMULAÇÃO - UFCEG, acessado em maio 27, 2025,
<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18677/1/MATHEUS%20PINTO%20COSTA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202016.pdf>
26. ANÁLISE DA distribuição DE CORRENTE EM MALHAS DE ATERRAMENTO ante a utilização de terrômetros de alta frequência - Engenharia Eletrica - UFPR, acessado em maio 27, 2025, <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/554.pdf>
27. www.crea-pr.org.br, acessado em maio 27, 2025,
<https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/protecao-contrades-cargas-atmosfericas-SPDA.pdf>
28. An Overview Of The IEEE Standard 81 Fall-Of-Potential Grounding ..., acessado em maio 27, 2025,
<https://www.agiusa.com/overview-of-ieee-standard-81-fall-of-potential-grounding-test>
29. repositorio.utfpr.edu.br, acessado em maio 27, 2025,
https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14974/3/PB_COELT_2014_2_03.pdf
30. fenix.tecnico.ulisboa.pt, acessado em maio 27, 2025,
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090418469/Dissertacao_Medicacao%20de%20Resistencias%20de%20Terra_GuilhermeSousa_N90880.pdf
31. IEEE 81-2012 PDF, acessado em maio 27, 2025,
<https://seaions.com/old/doc.php?u=/product/ieee-81-2012-pdf/>
32. Repositório Institucional UFC: Comissionamento da malha de aterramento da subestação Cacimbas 34,5/230 kV do complexo eólico Bons Ventos da Serra 2 - Universidade Federal do Ceará, acessado em maio 27, 2025,
<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47742>