



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE
ATERRAMENTO EM CASAS JÁ CONSTRUÍDAS
UTILIZANDO AS ARMADURAS DOS PILARES**

Andreza Bona de Oliveira

Brasília, fevereiro 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

Andreza Bona de Oliveira

**ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE
ATERRAMENTO EM CASAS JÁ CONSTRUÍDAS
UTILIZANDO AS ARMADURAS DOS PILARES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade
de Brasília como requisito parcial para obtenção do
Título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Professor Alcides Leandro da Silva, Dr.

Brasília, fevereiro 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

BONA DE OLIVEIRA, ANDREZA.

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE CASAS JÁ CONSTRUÍDAS UTILIZANDO AS ARMADURAS DOS PILARES. [Distrito Federal] 2019.

x, 66 p. (ENE/FT/UnB, Graduação, Engenharia Elétrica, 2019).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Aterramento

2. Choque Elétrico

3. Armadura do pilar

4. Terceiro pino das tomadas

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BONA DE OLIVEIRA, Andreza. Adequação do sistema de aterramento em casas já construídas utilizando as armaduras dos pilares. Trabalho de Conclusão de Curso, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 76 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Andreza Bona de Oliveira

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Adequação do sistema de aterramento em casas já construídas utilizando as armaduras dos pilares.

GRAU/ANO: Engenharia/2019.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Andreza Bona de Oliveira
Brasília, Asa Norte, SQN 116, Bloco J, Apartamento 202
abonaoliveira@gmail.com

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

**ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE
ATERRAMENTO EM CASAS JÁ CONSTRUÍDAS
UTILIZANDO AS ARMADURAS DOS PILARES**

Andreza Bona de Oliveira

Banca examinadora

Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva, UnB/ENE
Orientador

Prof. Dr. Francisco Damasceno Freitas, UnB/ENE
Coorientador

Prof. Dr. Plínio Ricardo Ganime Alves, UnB/ENE
Examinador interno

Engenheiro Edvaldo Lima Paniago
Examinador externo

Brasília, fevereiro 2019

Dedicatória

Dedico esse trabalho primeiramente aos meus pais, Thelma Bona Barros e Rubeval Isidro de Oliveira, que sempre apoiaram meus sonhos e me presentearam com a melhor educação desde pequena.

Dedico também a todas as pessoas que me ajudaram a sobreviver e estudar em Brasília, principalmente para a minha querida avó, Maria da Conceição Correa Bona.

Finalmente, dedico o trabalho a todos os amigos de curso e Professores que se permitiram, ao longo desses anos de graduação, compartilhar seus conhecimentos comigo, me engrandecendo e me ajudando nessa caminhada.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Alcides Leandro e ao Professor Francisco Damasceno por levantarem todos os mecanismos possíveis para que esse trabalho fosse realizado, especialmente ao Professor Alcides, pelas extensas horas do seu ano dedicadas a me auxiliar e orientar, sempre com muita alegria e disposição.

Agradeço ao meu primo Emanuel, por ter me ajudado no ensaio com a quebra do pilar e às minhas tias Artemizia e Regina por permitirem os ensaios em suas casas.

Agradeço também ao Professor Luciano Duque, proprietário do canal “Universidade da Elétrica” no Youtube e também meu chefe na IPT Engenharia, pelos conhecimentos transmitidos no canal que foram muito úteis para esse trabalho.

Finalmente, agradeço também aos meus amigos Engenheiros Civis Marcondes Ayres, formado na UFPI, e Renata Piazza, formada na UnB, por todos os conhecimentos acerca de fundações exhaustivamente explicados e detalhados.

RESUMO

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE CASAS JÁ CONSTRUÍDAS UTILIZANDO AS ARMADURAS DOS PILARES

A ocorrência de choque elétrico em ambiente doméstico suscita preocupação ou mesmo curiosidade sobre possível falha de aterramento ou se, de fato, há aterramento no sistema elétrico. O aterramento leva ao surgimento do condutor de proteção como requisito de segurança contra choque elétrico. Aterramento e consequente condutor de proteção configuram-se como itens básicos e fundamentais para o cumprimento das normas de segurança em instalações elétricas. Dentro desse contexto, este trabalho buscou analisar e propor adequações de instalações elétricas de residências que não possuíam o condutor de proteção, o condutor terra, por falta de sistema de aterramento desde a concepção do projeto.

Estudos sobre tipos de fundação foram tratados visando entender as interações estruturais entre ferragens e concreto e buscar formas de proceder à adequação da instalação elétrica. Adicionalmente, elucida como realizar a conexão do aterramento via armadura do pilar, mostrando uma nova forma de realizar o aterramento em uma casa já construída, onde o acesso às armaduras da fundação é dificultoso e exige análise para não comprometer a segurança estrutural da construção. Testes diversos em ambientes variados foram efetuados trazendo resultados condizentes com níveis de resistências de aterramento exigidos por normas para se prover o condutor terra e propiciar instalação de dispositivos de proteção contra choques e sobrecorrentes.

Comprovou-se, com os dados de campo, que é viável e segura a adequação das normas de aterramento utilizando os elementos metálicos do pilar, uma vez constatada que a construção não possuía o condutor de proteção. Assim, torna-se possível que o terceiro borne das tomadas e, conseqüentemente, o terceiro pino dos plugues sejam efetivamente conectados.

ABSTRACT

ADAPTATION OF BUILT HOUSES GROUNDING SYSTEM USING METALLIC ELEMENTS EMBEDDED IN THE COLUMNS

The occurrence of electric shock in a domestic environment raises a concern or even curiosity about possible grounding failure or if, in fact, there is grounding in the electrical system. Grounding system promotes the emergence of the protective conductor as a safety requirement against electric shock. Grounding and consequent conductor of protection are basic and essential items for the enforcement of the safety standards in electrical installations. Within this context, this work sought to analyze and propose adjustments of electrical installations of residences that did not have the protection conductor, the ground conductor, due to lack of grounding system since the design of the project.

Studies on foundation types were treated in order to understand the structural interactions between metallic elements embedded in the columns and concrete and to seek ways to proceed to the adaptation of the electrical installation. In addition, the study clarifies how to perform the grounding connection via metallic elements embedded in the pillar. showing a new way to make a grounding system on an already built house, where the access to the foundation's reinforcement is difficult and demand analyses to not compromise the structural safety of the construction. Several tests in different environments were performed bringing results consistent with levels of grounding resistance required by standards to provide the ground conductor and provide installation of protection devices against electric shocks and overcurrents.

It was verified with the field data that it is feasible and safe to adjust the grounding standards using the pillar metallic elements, when the construction did not provide protection conductor. Thus, it becomes possible for the third screw of the electrical outlets and, consequently, third pin of the plugs to be effectively connected.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Estruturação do trabalho	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. Aterramento Funcional e Aterramento de Proteção	5
2.2. Esquemas de aterramento segundo a NBR 5410.....	9
2.3. Elementos de um aterramento de proteção.....	14
2.3.1. Eletrodo de aterramento.....	14
2.3.2. Condutores de aterramento.....	19
2.3.3. Condutores de equipotencialização	20
2.3.4. Condutores de proteção	21
2.3.5 Barramento de equipotencialização principal.....	22
2.4. Problemas de neutro interrompido e aterramento.....	23
2.5. Medições pertinentes ao aterramento	26
3. O TERCEIRO PINO E O CHOQUE ELÉTRICO.....	28
3.1. Classe de isolamento dos equipamentos elétricos	28
3.2. Características das novas tomadas.....	29
3.3. Problemas comuns em relação à utilização do terceiro pino.....	32
3.4. O choque elétrico.....	34
4. FUNDAÇÕES.....	43
4.1. Fundações Profundas.....	43
4.1.1. Estaca.....	44
4.1.2. Tubulão.....	44
4.2. Fundações Superficiais (ou Rasas ou Diretas)	45

4.2.1. Viga de fundação (ou Viga Baldrame).....	45
4.2.2. Radier	46
4.2.3. Bloco.....	47
4.2.4. Sapata Isolada	47
4.3. Armaduras de aço e conexão entre fundação e pilar	48
5. DADOS DE CAMPO	51
5.1 Escolha dos ambientes para análise e método utilizado.....	51
5.2 Procedimentos e análise qualitativa no SG-11	55
5.4 Procedimentos e análise qualitativa na FT	57
5.5 Procedimentos e análise dos dados na casa 1	58
5.6 Procedimentos e dados recolhidos na casa 2	61
6. CONCLUSÕES	63

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Esse trabalho de conclusão de curso foi incentivado pela preocupação com a segurança das pessoas dentro de casa, em relação à instalação elétrica, uma vez que muitos acidentes envolvendo incêndios e choques acontecem diariamente e poderiam ser evitados se manutenções e adequações do sistema de aterramento fossem devidamente valorizados.

A Lei nº 11.337 de 26 de julho de 2006, dispõe acerca da obrigatoriedade dos sistemas de aterramentos em instalações elétricas para edificações construídas após sua vigência, ou seja, não há uma obrigatoriedade em lei para que as casas antigas se adequem. Porém, essa adequação é extremamente relevante quanto à segurança, e deve ser executada o mais rapidamente possível.

Choques são bastante comuns, principalmente em ambientes cujas instalações elétricas não possuem aterramento adequado e não fornecem grau de proteção satisfatório para os seus usuários. Caracterizados pela passagem de corrente elétrica pelo corpo, o choque elétrico pode produzir efeitos fisiológicos conforme sua intensidade, percurso e duração.

Ao longo dos anos, acidentes envolvendo choques foram amplamente relatados pela mídia nos mais variados ambientes e países e outros ocorreram com pessoas próximas, no Distrito Federal. Em 2018, alguns casos chocaram Brasília, entre eles: um garoto descalço e sem blusa, ao tentar tomar água no bebedouro de um condomínio, foi vítima de um choque e ficou grudado no equipamento; um professor de física de um colégio local foi vítima de um choque fatal ao operar um cortador de gramas; uma jovem garota sofreu sérios danos cerebrais ao levar um choque no aparelho de chopp de um estabelecimento comercial. Em todos esses casos, a mídia não chegou a esclarecer se os aparelhos estavam ou não conectados ao aterramento adequadamente.

Por não mencionar a relevância do aterramento em todos esses casos, e nada ter sido relatado sobre esse quesito, pode-se perceber que a população, sobretudo a própria mídia, demonstra não ter conhecimentos básicos e adequados sobre instalações elétricas. Em todos os

casos de choques em massas conectadas na instalação, o problema principal é o quesito aterramento.

1.2. Objetivo

O objetivo desse trabalho é propor uma forma de adequação do sistema de aterramento em casas já construídas, utilizando a armadura dos pilares, que resulte em uma melhor resistência de aterramento e equipotencialização do sistema elétrico. O trabalho, também, discute a importância do aterramento dentro das residências, evidenciando problemas comuns e suas soluções.

1.3. Estruturação do trabalho

Depois de uma abordagem do tema neste capítulo introdutório, o trabalho abordará, no segundo capítulo, a parte técnica sobre os tipos de aterramento explicitados em normas, o problema do neutro interrompido e os elementos de um sistema de aterramento, como o eletrodo de aterramento, condutor de aterramento, condutor de proteção, condutor de equipotencialização e o barramento de equipotencialização principal (BEP). No terceiro capítulo, será abordada a inserção do terceiro pino da tomada e sua importância, destacando o conceito de aterramento de proteção e aterramento funcional, e aspectos relacionados ao choque elétrico. O quarto capítulo elucidará conceitos de fundações e pilares e suas conexões dentro do concreto. Finalmente, no quinto e no sexto capítulos, o trabalho apresentará o método de medição da qualidade elétrica dos eletrodos de aterramento escolhidos, entre eles a armadura do pilar, em estudos de casos realizados na cidade Campo Maior no estado do Piauí e em edificações da UnB em Brasília-DF, com resultados e discussões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aterramento tem diversas funcionalidades, entre elas garantir uma proteção contra choques-elétricos e uma correta funcionalidade do sistema.

A norma de instalações elétricas de baixa tensão, a ABNT NBR 5410:2004, explicita em seus princípios fundamentais, no item 4.1.1, que:

4.1.1 Proteção contra choques elétricos

As pessoas e os animais devem ser protegidos contra choques elétricos, seja o risco associado a contato acidental com parte viva perigosa, seja a falhas que possam colocar uma massa acidentalmente sob tensão.

Dessa forma, os cuidados na elaboração de um projeto e de uma obra em instalações elétricas não deve apenas se basear na proteção quando falhas colocarem uma massa (carcaça de equipamentos, por exemplo) sob tensão, como nos casos de choques relatados, que é resolvido pelo projeto de um bom aterramento de proteção, mas também com os contatos acidentais à parte viva perigosa, que na prática é feita com a completa isolação dos condutores, de forma a não ficarem expostos para contato pelos usuários. A concepção física das novas tomadas, por exemplo, visa essa proteção. O aterramento realizado visando atender a proteção dos usuários em relação ao toque de massas acidentalmente energizadas é chamado de “aterramento de proteção”.

Sobre o aterramento, Kindermann e Compagnolo (1995) enfatizam:

Para que um Sistema de Energia Elétrica opere corretamente, com uma adequada continuidade de serviço, com um desempenho seguro do sistema de proteção e, mais ainda, para garantir os limites (dos níveis) de segurança pessoal, é fundamental que o quesito Aterramento mereça um cuidado especial.

Nessa passagem, observa-se que o aterramento não é importante apenas para garantir uma adequada proteção aos usuários, mas também para garantir a continuidade de operação normal dos equipamentos. A esse tipo de aterramento dá-se o nome de “aterramento funcional”.

Sobre aterramento elétrico, VISACRO FILHO (2008) diz:

O aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo. Este se constitui basicamente por três componentes:

- *As conexões elétricas que ligam um ponto do sistema aos eletrodos;*

- *eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo);*
- *terra que envolve os eletrodos.*

A NBR 5410:2004 também especifica esses mesmos componentes, porém com mais detalhamento. As partes especificadas pela norma são: eletrodo de aterramento – elemento condutor introduzido no solo; condutor de aterramento – elemento que interliga o eletrodo de aterramento ao barramento de equipotencialização principal (BEP); condutor de proteção – elemento que interliga as massas de equipamentos elétricos dos circuitos terminais ao BEP; e condutores de equipotencialização – elemento que interligam componentes metálicos estranhos à instalação. O intuito do aterramento é equipotencializar o elemento que se deseja aterrar ao potencial do solo. No aterramento funcional esse elemento é o neutro enquanto que no aterramento de proteção os elementos são todas as massas metálicas que podem ficar energizadas devido a faltas ou influência de campos eletromagnéticos (como no caso de subestações).

Apesar de considerar qualquer corpo metálico colocado no solo como um eletrodo de aterramento, a resistência do eletrodo e do solo vizinho são de extrema importância para determinação da resistência daquele aterramento. Dessa forma, nem todo eletrodo constitui um bom eletrodo de aterramento e nem todo solo é propício para recebê-lo. A resistência do solo é uma das maiores preocupações em relação ao desenvolvimento de um aterramento com baixa resistência, uma vez que a resistência do corpo metálico é relativamente baixa. Tal resistência está diretamente conectada às características do solo: o tipo do solo; sua umidade; concentração e tipos de sais dissolvidos na água; sua compactidade; granulometria; temperatura e estrutura geológica. Porém já existem várias soluções para tratar solos de alta resistência elétrica. Além disso, formas e disposição dos eletrodos conseguem também mitigar esse possível problema.

Dentro das opções de eletrodos apresentadas pela NBR 5410:2004, a mais recomendada pela própria norma é a utilização da armadura das fundações. A sua utilização garante baixa resistência de aterramento e a maior equipotencialização do terreno. Porém, ela não cita a utilização das armaduras dos pilares na conexão do aterramento, objeto de estudo deste trabalho.

As armaduras dos pilares já são utilizados como extensão do eletrodo de aterramento constituído pela armadura das fundações em muitos projetos de aterramentos em edificações já

construídas, por ter um acesso mais simplificado, mesmo não constando expressamente na norma.

Em um projeto de aterramento de uma casa ainda não construída, é verificado primordialmente, antes da construção, as composições físico-químicas do solo, fazendo a análise de estratificação do solo. Com base no resultado, é realizada a escolha do arranjo de eletrodos para compor o aterramento, por fim, após a execução do projeto, a resistência do aterramento é medida utilizando métodos e aparelhos específicos.

Neste trabalho, porém, não será realizado o estudo sobre o solo, apenas será verificada a condutividade da armadura do pilar, uma vez que estando conectado à armadura da fundação, já configura o arranjo que garante um dos melhores eletrodos de aterramento em qualquer tipo de solo. A medição da resistência de aterramento normalmente é realizada por meio de terrômetros que resultam em medidas bastante acuradas. Neste trabalho, será realizada uma medição alternativa, expressa na norma, que fornece resultados mais conservadores, porém suficientes para atestar a qualidade do aterramento realizado na residência.

2.1. Aterramento Funcional e Aterramento de Proteção

Como itens relevantes para esse trabalho, dois tipos de aterramentos serão abordados: o aterramento funcional e o aterramento de proteção.

O aterramento funcional é o aterramento realizado no condutor neutro na saída do transformador. Esse aterramento garante que o potencial do neutro seja muito próximo de zero volt, através de baixa impedância, e tem papel importante de equilíbrio das tensões nas cargas.

Segundo COTRIM (2009), o aterramento funcional proporciona:

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

Para demonstrar a relevância da baixa resistência de neutro, cálculos são apresentados baseados em ALMEIDA (1995).

Considerando um sistema em que a fonte é equilibrada com cargas desequilibradas em estrela com neutro aterrado via impedância:

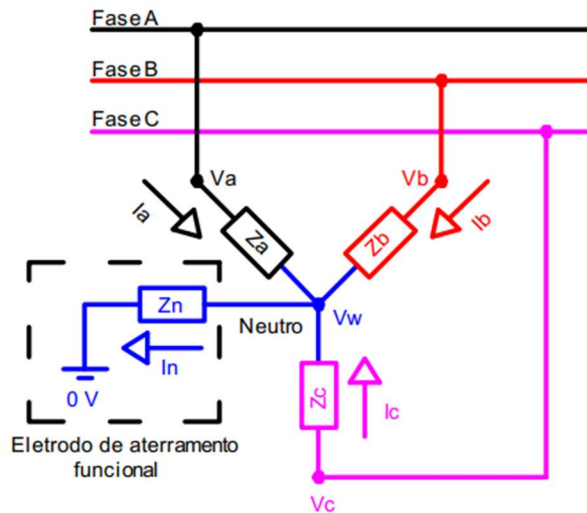


Figura 2.1 - Carga em estrela aterrada via impedância não nula. Fonte: Andreza Bona (2019)

Dessa forma, tem-se:

$$I_a = \frac{V_a - V_w}{Z_a} \quad (2.1)$$

$$I_b = \frac{V_b - V}{Z_b} \quad (2.2)$$

$$I_c = \frac{V_c - V}{Z_c} \quad (2.3)$$

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (2.4)$$

Substituindo (2.1), (2.2), (2.3) em (2.4):

$$V_w = \frac{V_a Y_a + V_b Y_b + V_c Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_n} \quad (2.5)$$

Onde:

$$Y_a = \frac{1}{z_a}, Y_b = \frac{1}{z_b}, Y_c = \frac{1}{z_c}, Y_n = \frac{1}{z_n} \quad (2.6)$$

Como, na realidade, o usuário do sistema usa os circuitos da sua casa de forma que as cargas fiquem bem desequilibradas, essa influência tem que ser inexpressiva em (2.5). Para isso, deve-se prezar por uma grande influência da admitância do neutro (Y_n), fazendo com que esta seja a maior possível. Como a admitância é o inverso da impedância, em outras palavras, é necessário que a impedância seja a menor possível. Por essa razão, não basta apenas interligar o neutro ao solo, é necessário garantir que essa ligação tenha um valor baixo de impedância de aterramento. Garantindo isso, obtém-se um valor muito próximo de zero volt para o potencial V_w , quesito necessário para que a tensão fase-neutro sobre as cargas em cada lado da estrela sejam equilibradas entre si, como pode-se perceber nas equações (2.1), (2.2) e (2.3).

A NBR 16527:2016 – *Aterramento para sistemas de distribuição*, item 5.4.1, dispõe sobre os pré-requisitos que um sistema de aterramento do neutro, que é do tipo multiterrado, ou seja, aterrado em vários pontos, deve ter:

- a) *Garantir a efetividade do aterramento do sistema; condições na prática satisfeita quando a resistência de aterramento equivalente se situa na faixa de 0,1 a 0,3Ω;*
- b) *Garantir a manutenção do neutro, em condições normais de operação, a um potencial inferior a 10 V em relação à terra; condição que assegura não ser alcançado o limite de 10 mA, quando de um eventual toque no condutor neutro;*
- c) *Garantir a manutenção dos potenciais de passo dentro de limites toleráveis, em condições de defeito; condição restrita aos potenciais de passo, por não ser sempre viável a manutenção dos potenciais de toque e de transferência, em condição de defeito, dentro dos limites toleráveis tendo em vista os tempos de operação dos dispositivos de proteção usuais. Proteção parcial para os potenciais de toque é obtida, ou por meio da colocação de aterramento interno ao poste (caso de instalações novas de postes de concreto), ou por proteção eletromecânica (canaleta) até a altura de 3 m no solo quando o condutor de aterramento for externo ao poste (caso de postes de madeira e postes de concreto já instalados). Esta proteção é totalmente inviável nos casos de postes*

metálicos onde a própria estrutura é utilizada como condutor de aterramento.

A NBR 5410:2004, em seus princípios fundamentais, cita que as pessoas e os animais devem ser protegidos contra choques elétricos, seja o risco associado a contato acidental com parte viva perigosa, seja as falhas que possam colocar uma massa acidentalmente sob tensão. Dessa forma, o aterramento de proteção é aquele que visa garantir a proteção supletiva, ou seja, proteger contra choques elétricos se massas ou partes condutivas acessíveis tornarem-se acidentalmente vivas.

Sobre aterramento de proteção, COTRIM (2009), cita seus objetivos:

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

Segundo a norma NBR 5410, no item 5.1.2.2.3.1, todas as massas de uma instalação devem estar ligadas a condutores de proteção, salvo alguns casos especificados no item 5.1.2.2.3.7, quais sejam:

- a) suportes metálicos de isoladores de linhas aéreas fixados à edificação que estiverem fora da zona de alcance normal;*
- b) postes de concreto armado em que a armadura não é acessível;*
- c) massas que, por suas reduzidas dimensões (até aproximadamente 50 mm x 50 mm) ou por sua disposição, não possam ser agarradas ou estabelecer contato significativo com parte do corpo humano, desde que a ligação a um condutor de proteção seja difícil ou pouco confiável.*

Ainda, a mesma norma especifica no item 5.1.2.2.3.6 que:

“Todo circuito deve dispor de condutor de proteção, em toda sua extensão.”

O aterramento de proteção proporciona um caminho de baixa impedância entre o equipamento que se pretende aterrar e o solo. Na ocorrência de uma falta que exponha a carcaça ao potencial de fase, ocorrerá um curto-circuito entre fase e terra, fazendo atuar os equipamentos de proteção.

O aterramento de proteção também elimina correntes residuais acumuladas por eletricidade estática nas partes metálicas dos equipamentos a ele conectado. Portanto, é um aterramento realizado visando a proteção e conforto das pessoas e animais dentro da residência.

2.2. Esquemas de aterramento segundo a NBR 5410

A norma NBR 5410 define 5 esquemas de aterramento: TNC, TNS, TNC-S, IT, TT. Neste capítulo não será abordado o esquema IT por não ser executado em residências comuns.

- Primeira letra – situação da alimentação em relação à terra
T = um ponto diretamente aterrado;
I = isolamento de todas as partes vivas em relação a terra ou aterramento de um ponto através de impedância
- Segunda letra – situação das massas da instalação elétrica em relação à terra
T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
N = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o neutro).
- Outras letras – disposição do condutor neutro e do condutor de proteção
S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

Para exemplificar melhor todos esses esquemas de aterramentos, realizou-se desenhos para efeito de comparação com os desenhos contidos na NBR 5410:2004. Nas Figuras 2.2, 2.3 e 2.4 os desenhos do lado esquerdo são os desenhos retirados da norma enquanto que os desenhos do lado direito foram realizados pela autora para efeito de melhor detalhamento.

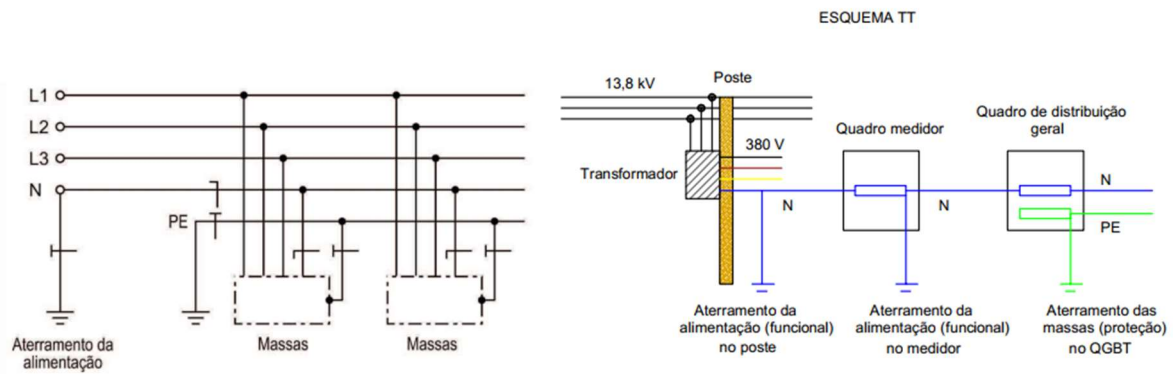


Figura 2.2 - Esquema de aterramento TT.

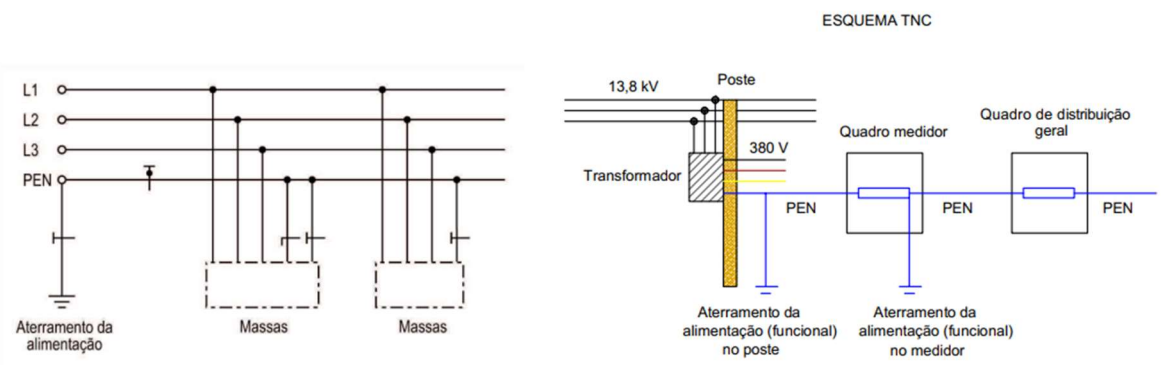


Figura 2.3 - Esquema de aterramento TNC.

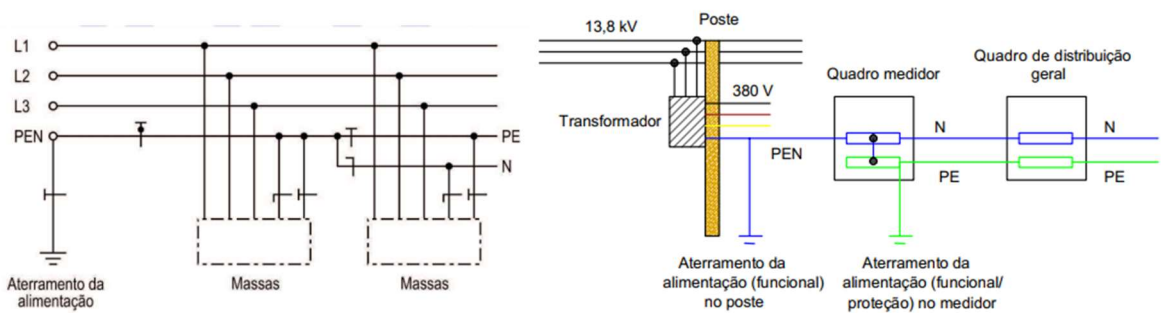


Figura 2.4 - Esquema de aterramento TNC-S.

Segundo COTRIM (2009), o sistema TNC não é uma boa opção de aterramento porque o condutor PEN (neutro e proteção combinados) não tem tensão igual à 0 V, uma vez que por ele passam correntes de carga. Portanto, nesse aterramento as massas não estão no mesmo potencial de aterramento da fonte. Assim, sempre haverá uma diferença de potencial entre mão

e pé do usuário não isolado que toca o equipamento elétrico. Além disso, na situação de neutro interrompido, que será explicado no próximo capítulo, o perigo é ressaltado por expor as carcaças ao potencial de fase.

É evidente a diferença entre TNC-S e TT: enquanto o aterramento das massas do primeiro faz conexão com o aterramento do neutro, o outro não o faz. A Figura 2.5 e 2.6 mostram os dois esquemas.

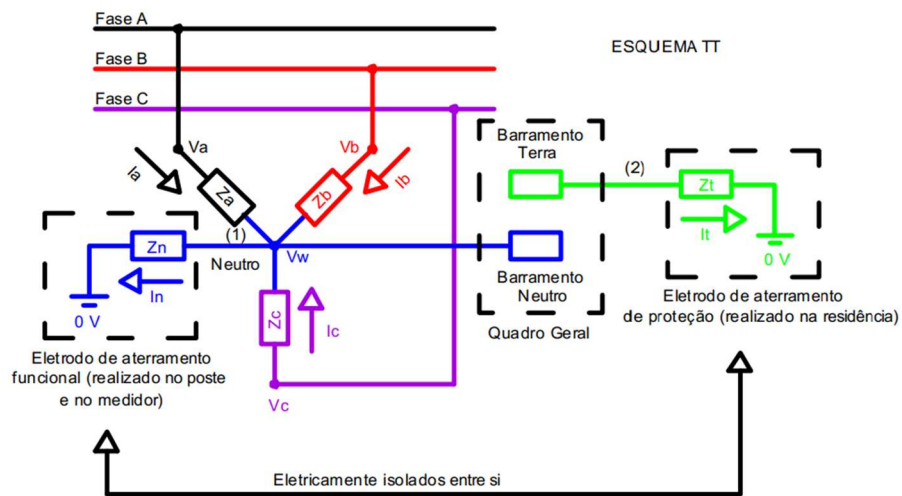


Figura 2.5 - Esquemas TT sob a perspectiva de circuitos polifásicos.

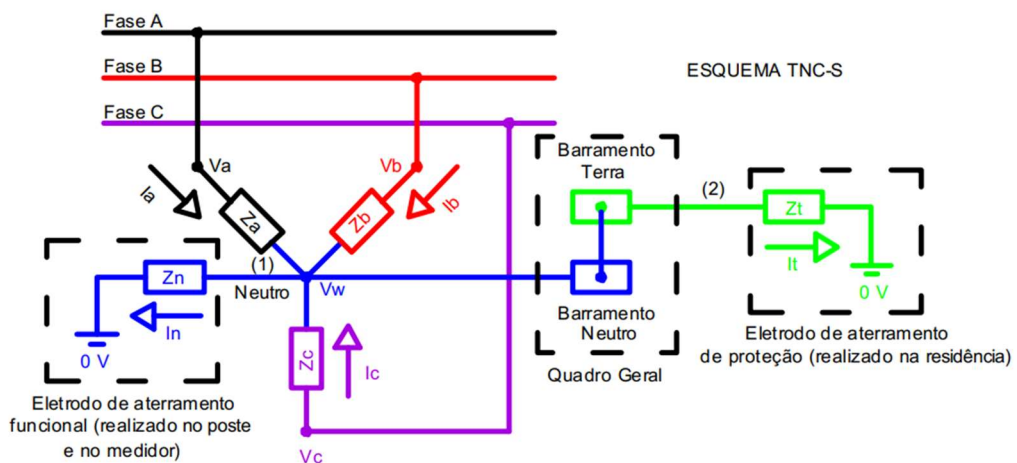


Figura 2.6 - Esquema TNC-S sob a perspectiva de circuitos polifásicos.

No esquema TNC-S o percurso da corrente de falta fase-terra é constituído majoritariamente por elementos condutores, sendo, portanto, de baixa impedância. Neste caso, a proteção é feita por dispositivo diferencial residual (DR) e também por dispositivos de proteção contra sobrecorrentes (Disjuntor). Por outro lado, no esquema TT, o percurso da corrente de falta fase-terra inclui o solo. Dessa forma, é um percurso de maior resistência do que o TNC-S e, por conta disso, a corrente de falta pode ser inferior à corrente de curto-circuito fase-neutro, sendo dificultada sua detecção por dispositivos de proteção contra sobrecorrente. Logo, nesse esquema de aterramento apenas o DR é adequado como proteção contra choques. Essa explicação está de acordo com a exigência da NBR 5410:2004 item 6.3.3.1.2:

No esquema TT, não se admite o emprego de dispositivo a sobrecorrente no seccionamento automático visando proteção contra choques elétricos (ver 5.1.2.2.4.3-a).

Na Figura 2.5, no esquema TT, se ocorrer uma falha em (1), teremos um desequilíbrio na tensão V_w , fazendo com que as tensões dentro da casa se modifiquem em cada fase e, dessa forma, pode danificar equipamentos ao expô-los a tensões não admissíveis. Se a falha ocorrer em (2), a casa fica sem aterramento de proteção, ou seja, o terceiro pino das tomadas e as massas metálicas ficarão com tensões flutuantes. Se a falha ocorrer em (1) e (2) concomitantemente, os dois efeitos se somarão, ou seja, as pessoas ficarão desprotegidas contra choques e os aparelhos serão expostos a tensões diferentes da nominal.

Na Figura 2.6, no esquema TNC-S, se ocorrer uma falha em (1), não ocorrerá um desequilíbrio considerável na tensão V_w , pois o aterramento de proteção irá acumular a função de aterramento funcional. Se a falha ocorrer em (2), o aterramento funcional acumula a função de aterramento de proteção e nada acontece. Porém, se a falha ocorrer em (1) e (2), teremos duas consequências: a tensão V_w irá se modificar, fazendo com que as tensões da casa se modifiquem e que, como já explicado, equipamentos possam ser danificados; e, o que é ainda pior, essa tensão V_w será transmitida para todas as carcaças de equipamentos e partes metálicas conectadas ao condutor de aterramento. Entretanto, é necessário informar que os dois efeitos combinados são muito improváveis de ocorrer. O mais comum é o rompimento da conexão do aterramento funcional ao neutro no medidor.

O aterramento do neutro realizado no medidor é feito para melhorar a confiabilidade do aterramento funcional, uma vez que a conexão entre eletrodo de aterramento e neutro no poste é, com frequência, corrompido. Apesar de algumas distribuidoras indicarem o surgimento do

condutor de proteção (PE) do eletrodo de aterramento do neutro no medidor, o corpo técnico dessas empresas pede que não se confie nesse eletrodo e de que seja realizado um esquema de multiaterramento na casa, conectando o aterramento também em outros eletrodos mais confiáveis (como as armaduras das fundações). O sistema de multiaterramento atenua tensões de toque que podem surgir nos equipamentos devido a falhas e também contribui para melhor equipotencialização do terreno, principalmente no que concerne a proteção contra descargas atmosféricas.

A Figura 2.7 mostra o esquema de aterramento utilizado em muitas casas, onde o eletrodo de aterramento funcional é utilizado também como eletrodo de aterramento de proteção.

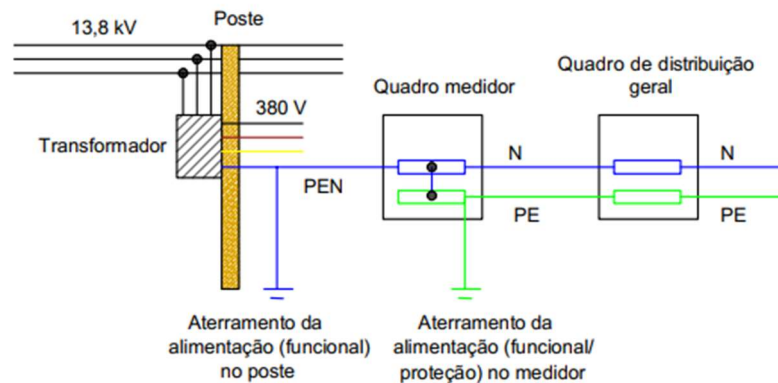


Figura 2.7 - Configuração de aterramento não recomendada – sem a realização do aterramento de proteção da casa.

O modelo recomendado é mostrado na Figura 2.8, onde há eletrodos de aterramento distintos (do medidor e da casa), porém conectados entre si (no caso de um esquema TN).

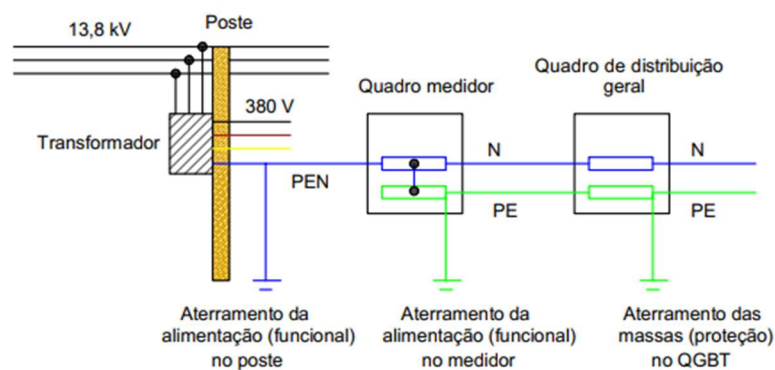


Figura 2.8 - Configuração de aterramento recomendada

2.3. Elementos de um aterramento de proteção

Um sistema de aterramento de proteção contém cinco elementos principais: eletrodo de aterramento, condutor de aterramento, condutor de proteção, condutor de equipotencialização e barramento de equipotencialização principal. Essa seção visa detalhar todos esses elementos no intuito de fornecer um melhor embasamento e evitar possíveis confusões em relação aos termos.

2.3.1. Eletrodo de aterramento

A norma NBR 5410:2008 estabelece no item 6.4.1.1.1 que o eletrodo de aterramento deve ser, preferencialmente, as próprias armaduras da fundação.

6.4.1.1.1 Toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, denominada “eletrodo de aterramento”, sendo admitidas as seguintes opções:

- a) preferencialmente, uso das próprias armaduras do concreto das fundações (ver 6.4.1.1.9); ou*
- b) uso de fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações (ver 6.4.1.1.10); ou*
- c) uso de malhas metálicas enterradas, no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e complementadas, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente (“pés-de-galinha”); ou*
- d) no mínimo, uso de anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e complementado, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente (“pés-de-galinha”).*

No item 6.4.1.1.9 a referida norma detalha os elementos das fundações nos quais tem sua armadura própria para servir de eletrodo de aterramento, que são: estacas, bloco de fundações e vigas baldrames.

6.4.1.1.9 Nos casos em que a infraestrutura de aterramento da edificação for constituída pelas próprias armaduras embutidas no concreto das fundações (armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e vigas baldrames), pode-se considerar que as interligações naturalmente existentes entre estes elementos são suficientes para se obter um eletrodo de aterramento com características elétricas adequadas, sendo dispensável qualquer medida suplementar.

Esse trabalho visa comprovar que as armaduras dos pilares podem ser consideradas extensões dos eletrodos de aterramento das fundações, uma vez estando conectadas diretamente a ela. Essa comprovação dar-se-á por meio de testes de campo. Os pré-requisitos impostos pelo item 6.4.1.1.2 para um bom eletrodo de aterramento são:

- a) seja confiável e satisfaça os requisitos de segurança das pessoas;*
- b) possa conduzir correntes de falta à terra sem risco de danos térmicos, termomecânicos e eletromecânicos, ou de choques elétricos causados por essas correntes;*
- c) quando aplicável, atenda também aos requisitos funcionais da instalação.*

Na tabela a seguir são apresentadas as expressões para cálculo da resistência de aterramento de algumas configurações típicas de aterramento.

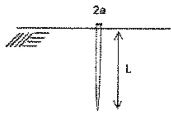
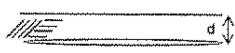
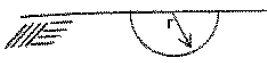





Eletrodo	Tipo / Expressão
	Haste vertical $R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
	Eletrodo horizontal $R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{2L}{a} + Ln \frac{4L}{d} - 2 + \frac{2d}{L} + \dots \right)$
	Semi-esfera ao nível do solo $R_T = \frac{\rho}{2\pi r}$
	Esfera colocada à profundidade “d” $R_T = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{2d} \right)$
	Disco horizontal ao nível do solo $R_T = \frac{\rho}{4r}$
	Disco vertical à profundidade “d” $R_T = \frac{\rho}{8r} + \frac{\rho}{8\pi d} \left(1 + \frac{7}{24} + \frac{r^2}{4d^2} + \dots \right)$
	Disco horizontal à profundidade “d” $R_T = \frac{\rho}{8r} + \frac{\rho}{8\pi d}$
	Superfície quadrada vertical Mesma resistência que a de um disco de mesma área, colocado à mesma profundidade

Tabela 2.1 - Configurações Típicas de Aterramento. Fonte: VISACRO FILHO (2016)

Alguns tipos de aplicação requerem que o aterramento possua valor muito reduzido de resistência. Em muitos casos não é possível alcançar tal valor com um único eletrodo, nas condições específicas de resistividade do solo local. Isso pode justificar a composição de sistemas de aterramento, constituídos pela interligação de diferentes eletrodos, dispostos de forma diversa, dependendo das peculiaridades. VISACRO FILHO (2016)

Dessa forma, nos casos em que a resistividade necessita ser bastante reduzida, é necessário o emprego de vários eletrodos em um sistema só, de modo que aumente o contato da rede com o solo. Portanto, utilizar a armadura da fundação é uma dessas alternativas.

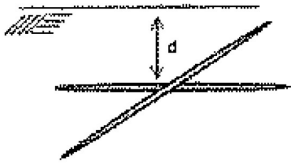
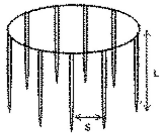
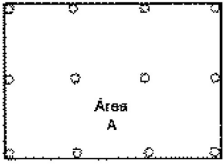
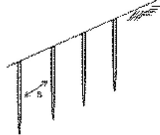
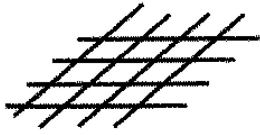
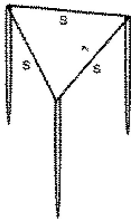
Eletrodo	Tipo / Expressão
	<p>Estrela de 4 pontos colocada num plano horizontal de profundidade “d” (raio do eletrodo: a)</p> $R_T = \frac{\rho}{8\pi L} \left(Ln \frac{2L}{a} + Ln \frac{L}{d} + 2,91 - 1,07 \frac{2d}{L} \dots \right)$
	<p>n hastes verticais dispostas em círculo ($s \gg L$)</p> $R_T = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{d} Ln \frac{2n}{\pi} \right)$
	<p>n hastes verticais dispostas uniformemente na área A</p> $R_T = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left[Ln \frac{4L}{a} - 1 + 2 \frac{K_1 L}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$ <p>K_1 = constante que depende da profundidade da parte superior da hastes</p>
	<p>n hastes verticais dispostas em linha reta ($s \gg L$)</p> $R_T = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{d} Ln \frac{1,781n}{2,718} \right)$
	<p>Malha constituída por reticulado formado com eletrodos horizontais, cobrindo a área A e comprimento total de condutores L</p> $R_T \cong 0,443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$
	<p>Conjunto de 3 hastes verticais interligadas, dispostas no vértice de um triângulo equilátero (aplicação típica de aterramento de para-raios)</p> $R_T = R_{11} \frac{1 + 2r/s}{3}$ $R_{11} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$ $\frac{\rho}{2\pi r} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$ <p>r: raio do hemisfério que possui o mesmo valor de resistência de uma haste (R_{11})</p>

Tabela 2.2 - Expressões Típicas de Aterramento. Fonte: VISACRO FILHO, 2016

A modelagem feita para um eletrodo tipo pequena fundação é de uma semiesfera de concreto inserido em uma semiesfera de metal.

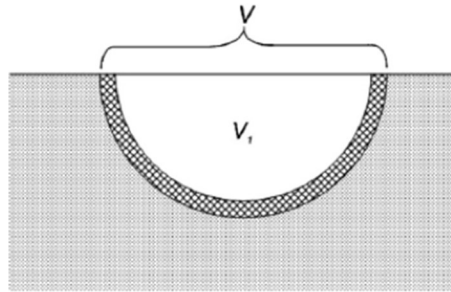


Figura 2.9: Modelagem para um eletrodo tipo fundação – Fonte: V.Brandenbursky, 2010.

A resistência de aterramento via fundação pode ser modelado segundo a Equação (2.7), retirado do artigo “Ground resistance calculation for small concrete foundations”, V.Brandenbursky, A. Farber, V.Korj, A.Braunshtein, 2010.

$$R = 0,2 \left(\frac{\rho}{\sqrt[3]{V}} \right) \quad (2.7)$$

R = Resistência de aterramento da fundação

ρ = resistividade do solo (Ωm)

V = volume da fundação

A resistividade do concreto varia entre 30 a 90 Ωm . O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos recomenda usar o valor de 50 Ωm para essa resistividade.

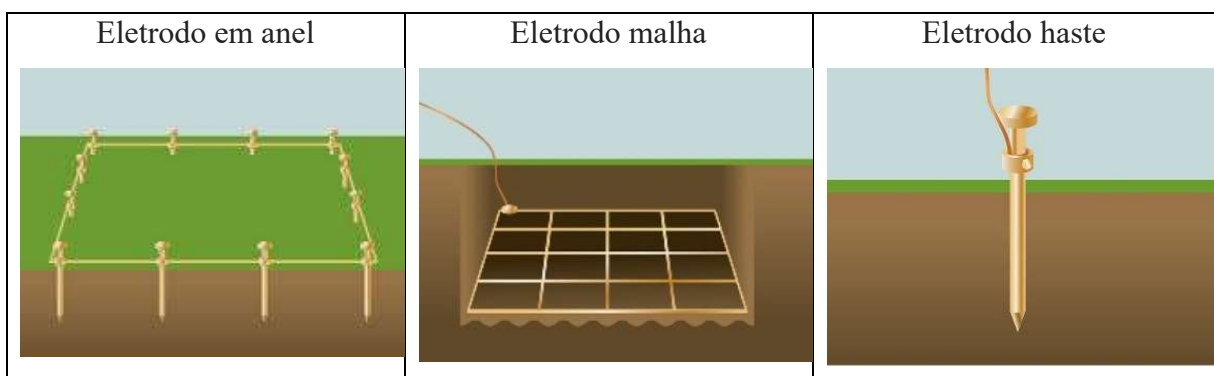


Figura 2.10 - Exemplos de eletrodos de aterramento. Fonte: eletrodomesticos

2.3.2. Condutores de aterramento

O condutor de aterramento é o elemento que interliga o eletrodo de aterramento ao barramento de equipotencialização principal (BEP). A norma especifica no item 6.4.1.2.3 como deve ser feita a ligação do condutor de proteção com o eletrodo de aterramento.

6.4.1.2.3 A conexão de um condutor de aterramento a eletrodo de aterramento embutido no concreto das fundações (a própria armadura do concreto ou, então, fita, barra ou cabo imerso no concreto, ver 6.4.1.1.9 e 6.4.1.1.10) deve ser feita garantindo-se simultaneamente a continuidade elétrica, a capacidade de condução de corrente, a proteção contra corrosão, inclusive eletrolítica, e adequada fixação mecânica. Essa conexão pode ser executada, por exemplo, recorrendo-se a dois elementos intermediários, conforme descrito a seguir:

a) o primeiro elemento, que realiza a derivação do eletrodo para fora do concreto, deve ser constituído por barra de aço zincada, com diâmetro de no mínimo 10 mm, ou fita de aço zincada de 25 mm x 4 mm e ligada ao eletrodo por solda elétrica. A barra ou fita deve ser protegida contra corrosão;

b) o segundo elemento, destinado a servir como ponto de conexão do condutor de aterramento, deve ser constituído por barra ou condutor de cobre, ligado ao primeiro elemento por solda exotérmica (ou processo equivalente do ponto de vista elétrico e da corrosão).

NOTAS

I No caso de o eletrodo ser a armadura do concreto, essa armadura deve ter, no ponto de conexão, uma seção não inferior a 50 mm² e um diâmetro de preferência não inferior a 8 mm.

Portanto, os cuidados acima devem ser também observados ao utilizar as armaduras dos pilares como eletrodo de aterramento, enfatizando que a conexão não deve ser feita em armaduras de seções inadequadas, ou seja, inferiores a 50 mm².



Foto 2.11 - Cordoalha de cobre como condutor de aterramento.

2.3.3. Condutores de equipotencialização

Os condutores de equipotencialização principal são os condutores que conectam o BEP ou BEL aos elementos incluíveis na equipotencialização, segundo a NBR 5410:2004. Os condutores de equipotencialização suplementar são os condutores que interligam duas massas ou massa e elemento condutor estranho à instalação elétrica.

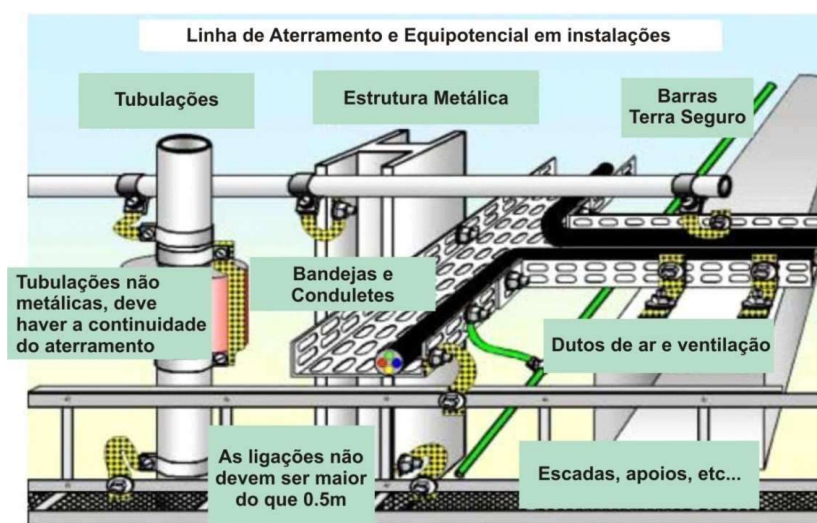


Figura 2.12 - Alguns elementos incluíveis na equipotencialização. Fonte: vivaceinstruments

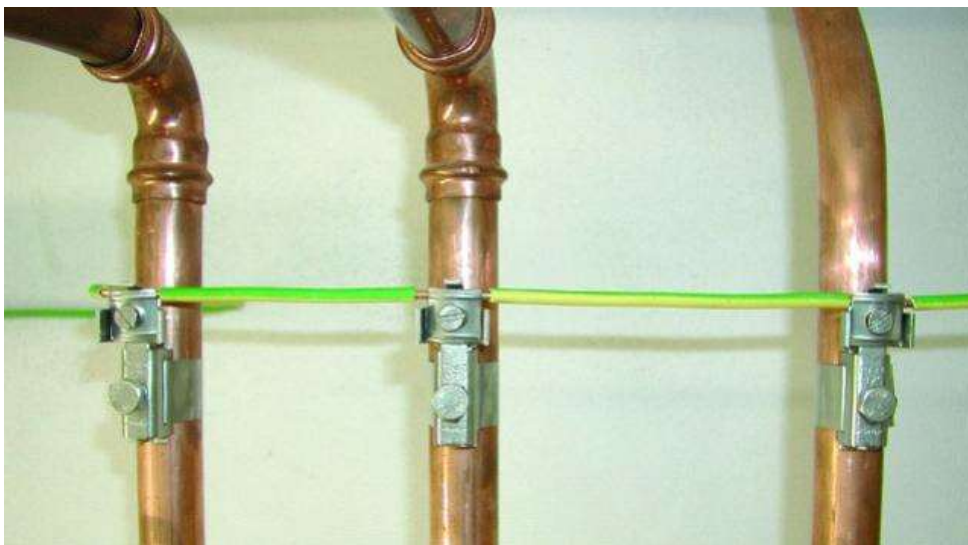


Figura 2.13 - Condutores de equipotencialização suplementar. Fonte: usinenouvelle

2.3.4. Condutores de proteção

Os condutores de proteção são os condutores que surgem no quadro geral de distribuição e são levados para toda extensão dos circuitos, sendo prescritos visando a proteção contra choques e destinados a interligar eletricamente os chassis dos equipamentos à terra.

É necessário atentar-se para confusões acerca do item 6.4.3.2.3.

6.4.3.2.3 Os seguintes elementos metálicos não são admitidos como condutor de proteção:

f) armadura do concreto (ver nota);

As armaduras do concreto não podem ser usadas como alternativas a condutores de proteção, mas são usadas como eletrodos de aterramento. Ou seja, é necessário especial atenção à norma para entender que eletrodo de aterramento é um elemento completamente diferente de condutor de proteção. O primeiro é o elemento de onde irá ser derivado o condutor de aterramento principal, enquanto o segundo é o condutor que sai do BEP e é conectado às massas da instalação.

O condutor de proteção faz parte das medidas suplementares de proteção, portanto é imprescindível, mesmo com a utilização do DR, como expresso na NBR 5410:2004:

NOTA O uso de dispositivos DR não dispensa, em nenhuma hipótese, o uso de condutor de proteção. Como especificado em 5.1.2.2.3.6, todo circuito deve dispor de condutor de proteção, em toda sua extensão (ver também 6.4.3.1.5).

2.3.5 Barramento de equipotencialização principal (BEP)

O Barramento de Equipotencialização Principal, ou BEP, é normalmente uma barra de cobre (mas pode ser uma chapa, um cabo, dentre outros) destinado a conectar condutores de proteção, condutor de equipotencialização e condutor de aterramento. O barramento de terra dentro do quadro elétrico principal da casa pode acumular a função de BEP. Em unidades consumidoras extensas, no entanto, pode existir os barramentos de equipotencialização local, BEL, destinados a receber os condutores de equipotencialização principal e distribuir os condutores de equipotencialização suplementar e os condutores de proteção. A Figura 2.14 resume todos esses componentes.

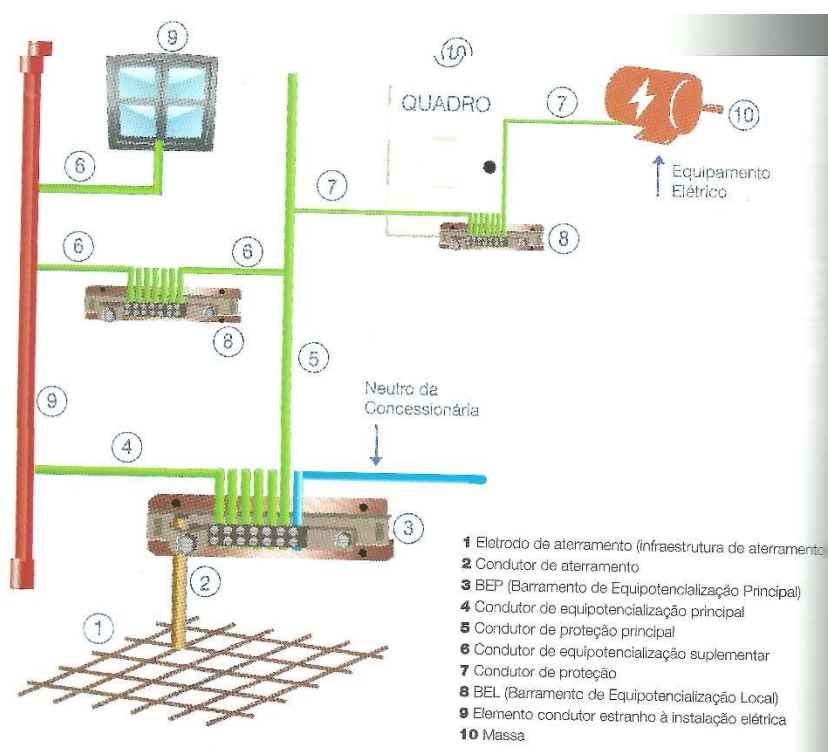


Figura 2.14 - Esquema geral do sistema de aterramento. Fonte: CABOS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO (2014)

2.4. Problemas de neutro interrompido e aterramento

O problema do neutro interrompido pode expor equipamentos, em determinadas circunstâncias, à tensão de fase-fase - muito superior a tensão nominal do equipamento - resultando em dano e até perda de sua funcionalidade. O problema acontece da seguinte maneira: o neutro, após a conexão com seu aterramento, em direção à casa, é interrompido e deixa todo o caminho logo em seguida a falha em condição de tensão flutuante; ao ser conectado qualquer equipamento que feche o caminho entre fase e neutro flutuante, o neutro passa a ter tensão daquela fase.

Na Figura 2.17, no caso de um sistema de tensão fase-neutro de 220 V, o voltímetro 1 indicará uma diferença de potencial de 0 volts, levando o operador a pensar que o circuito se encontra desenergizado. Porém, ao tocar na fase ou no neutro desse mesmo circuito, estará tocando em condutores energizados, podendo ocorrer o choque se o operador não estiver com isolamento adequado.

Na figura 2.19, o voltímetro 2 indicará uma diferença de potencial de 380 volts, isso significa que qualquer aparelho conectado àquela tomada irá ser exposto a uma tensão muito superior à da sua faixa de operação, danificando o equipamento. A diferença de 380 volts é variável à medida em que se insere mais dispositivos no circuito. As tensões ficam flutuantes e dependentes das impedâncias das cargas.

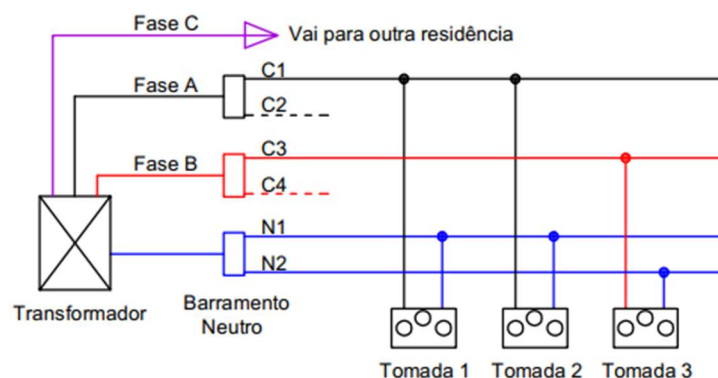


Figura 2.15 - Situação de normalidade.

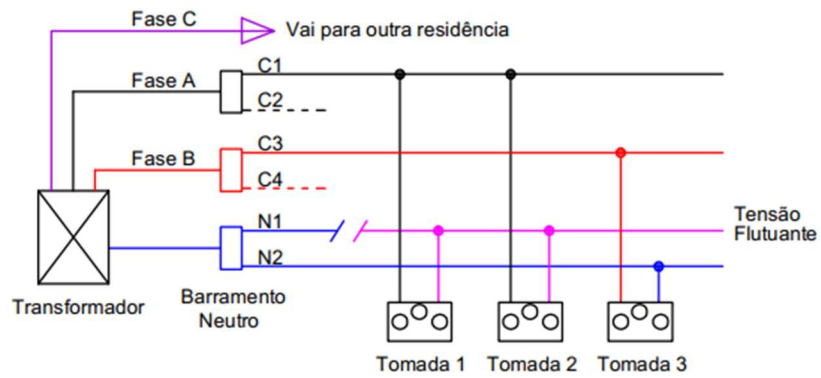


Figura 2.16 - Situação em que o neutro foi interrompido no circuito 1 (C1) e não tem nenhum equipamento ligado no circuito.

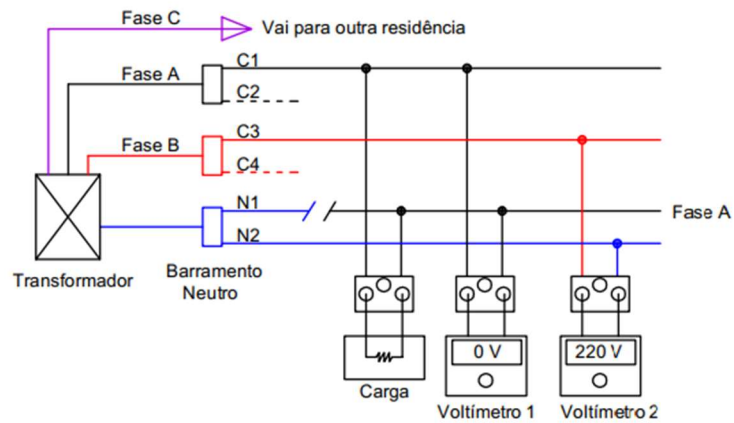


Figura 2.17 - Situação em que o neutro foi interrompido circuito 1 (C1) e um equipamento foi ligado à tomada desse mesmo circuito.

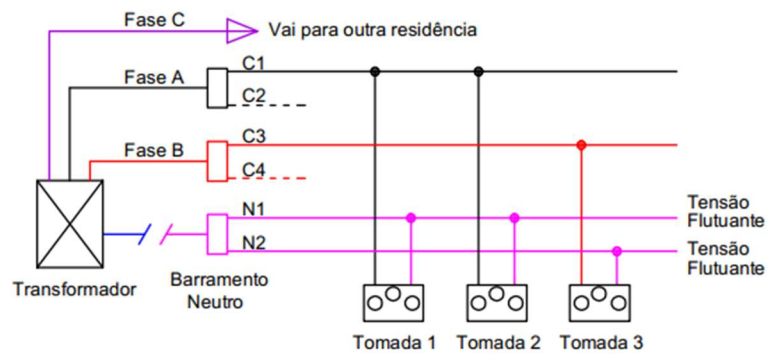


Figura 2.18 - Situação em que o neutro foi rompido na saída do transformador.

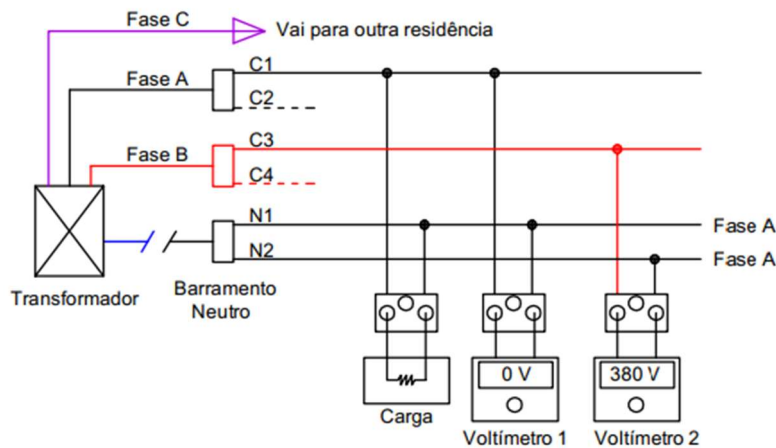


Figura 2.19 - Situação em que o neutro foi interrompido na saída do transformador e um equipamento foi ligado à rede elétrica dentro da residência.

A conexão inadequada do neutro com a terra em um equipamento dentro de casa é perigosa na situação do neutro interrompido. Um exemplo crítico ocorre com o chuveiro elétrico, onde a conexão terra-neutro é bastante comum: se o neutro for interrompido nesse circuito, ele irá adquirir tensão da fase e, conseqüentemente, o terra que está conectado à ele, à carcaça e à água, também irá adquirir tensão da fase, expondo os usuários à tensão perigosa através da carcaça e da própria água.

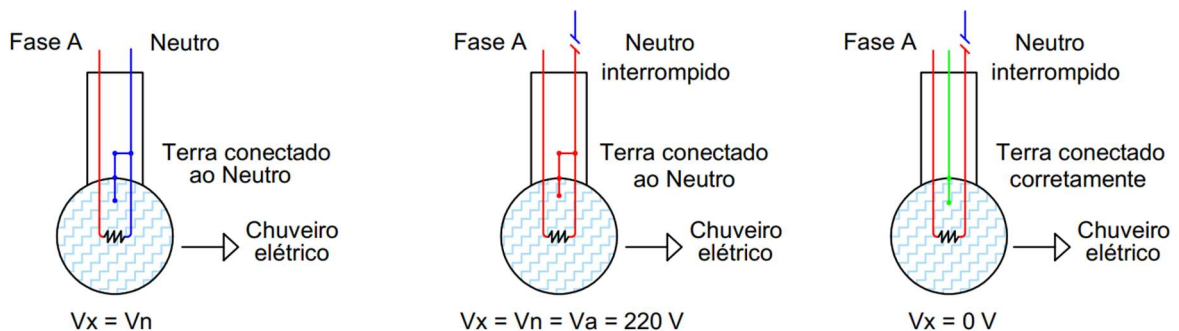


Figura 2.20 - Problema do neutro interrompido no chuveiro com conexão inadequada de aterramento onde V_x é o potencial da carcaça metálica e da água, V_n é a tensão do Neutro e V_a é a tensão da Fase A (220 V).

Além do problema do neutro interrompido, existe um outro problema ainda mais comum e também pertinente: a falta de conexão do barramento terra (BEP ou BEL) com o eletrodo de aterramento. Essa inexistência da conexão faz com que todas as carcaças que estão conectadas ao condutor de proteção fiquem equipotencializadas entre si – e não em relação ao solo – e em tensão flutuante de forma que se ocorrer alguma falha que exponha alguma carcaça ao potencial

de fase, todas as outras carcaças interconectadas também irão adquirir essa mesma tensão. Nesse caso, o DR somente irá atuar se algum elemento fechar o circuito entre carcaça e solo, que no caso poderia ser o próprio usuário do sistema ao encostar em algum equipamento e receber a corrente elétrica de fuga.

Esse problema em específico tem sido relatado por várias pessoas em Brasília que moram em edifícios muito antigos e fizeram uma atualização das suas instalações elétricas utilizando serviço de técnicos eletricitistas desqualificados ou inexperientes.

2.5. Medições pertinentes ao aterramento

A NBR 5410:2004 define três tipos de medições relativas ao aterramento para atestar sua qualidade: medição da resistência de aterramento, medição da impedância do percurso de falta e medição da resistência dos condutores de proteção. Ainda, especifica o ensaio de atuação do DR, para verificar sua funcionalidade.

Para o esquema TT, as medições realizadas estão especificadas no item 7.3.5.2:

a) medição da resistência de aterramento das massas da instalação (ver 7.3.5.4); e

b) inspeção visual e ensaio dos dispositivos DR.

Porém, na nota do item 7.3.5.4, a norma especifica:

NOTA Quando for inviável a medição da resistência de aterramento, usando-se métodos como os descritos no anexo J, face a dificuldades práticas na constituição dos eletrodos auxiliares (caso de centros urbanos, por exemplo), a verificação desse ponto, em esquemas TT, pode ser substituída pela medição da impedância (ou resistência) do percurso da corrente de falta, que representa, nesse caso, uma alternativa mais conservadora.

Dessa forma, enfatiza-se a possibilidade do uso da medição da impedância do percurso de falta para o caso TT pois será essa a medição utilizada no estudo de caso deste trabalho.

Ainda relevante, o item 7.3.5.1, fala sobre as medições acerca do esquema TN:

a) medição da impedância do percurso da corrente de falta (ver 7.3.5.5); e

b) verificação das características do dispositivo de proteção associado (inspeção visual e, para dispositivos DR, ensaio).

Porém, para o caso TN, existe a opção ainda de realizar a medição da resistência dos condutores de proteção. Essa opção não é disponibilizada para o caso TT pois neste esquema a corrente de falta vai diretamente para o solo, sem retornar por nenhum condutor.

Neste trabalho foi utilizado uma adaptação da medição da impedância do percurso de falta pelo Método 1 do Anexo K da NBR 5410:2004. Esse método consiste em fazer circular uma corrente, na frequência da fonte, por uma resistência, medindo a tensão fase-terra antes de introduzir a resistência no circuito e medindo, após a introdução, a corrente e a tensão da conexão fase-terra através dessa resistência. A norma não especifica o valor da resistência a ser adotado.

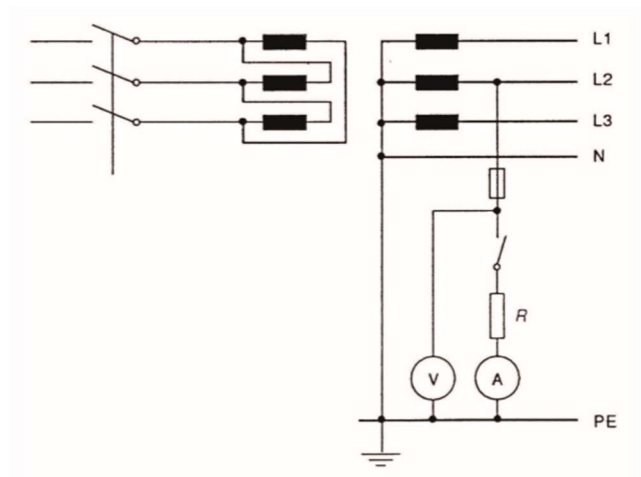


Figura 2.21 - Medição da impedância do percurso de falta. Fonte: NBR 5410:2004

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I_R}$$

onde:

- Z é a impedância do percurso da corrente de falta;
- U_1 é a tensão medida sem a carga;
- U_2 é a tensão medida com a carga;
- I_R é a corrente na carga.

Figura 2.22 - Equação relativa à medição do percurso de falta pelo Método 1 do Anexo K. Fonte: NBR 5410:2004

3. O TERCEIRO PINO E O CHOQUE ELÉTRICO

3.1. Classe de isolamento dos equipamentos elétricos

Tomando como base a IEC 61140:2016, os equipamentos podem ser divididos em 3 principais classes de isolamento elétrico:

Classe I: equipamento cujo chassi deve ser conectado à um condutor de proteção para garantir proteção em relação a defeitos que tornem a carcaça uma parte viva.

Classe II: equipamento com isolação dupla ou reforçada cujo chassi não é aterrável. Uma simples falha não causa energização da carcaça.

Classe III: equipamentos alimentados em extra-baixa tensão, que por ser tão baixa, não oferece risco se uma pessoa entrar em contato com sua parte viva.

Portanto, existem equipamentos que não dispõem do pino de aterramento nos seus respectivos plugues e de fato não precisam ser aterrados, que são os equipamentos com isolamento classe II e III. Esses equipamentos possuem indicação simbólica em suas carcaças.

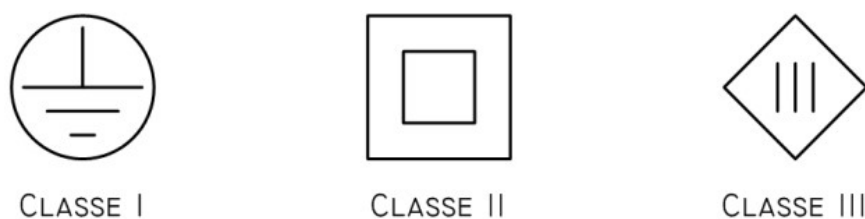


Figura 3.1 - Indicação simbólica das classes de isolamento contidas nos chassis dos equipamentos. Fonte: bloguetronica



Figura 3.2 - Equipamento com isolamento classe II.

3.2 Características das novas tomadas

Em 2001, a NBR 14136: *Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20 A, 250 V c.a - Padronização* introduziu as novas tomadas e plugues bipolar (2P) e bipolar com contato de aterramento (2P+T). Em termos de corrente nominal, padronizou dois valores: 10 e 20 A. Fisicamente, as tomadas de 20 A podem receber plugues de 10 ou 20 A, enquanto que as tomadas de 10 A só podem receber plugues de 10 A. Nenhuma diferenciação foi adotada para o caso das tensões: usa-se a mesma tomada para 127 e para 220 V. Uma das principais vantagens da nova tomada foi a proteção física contra choques, evitando o contato acidental com parte viva.

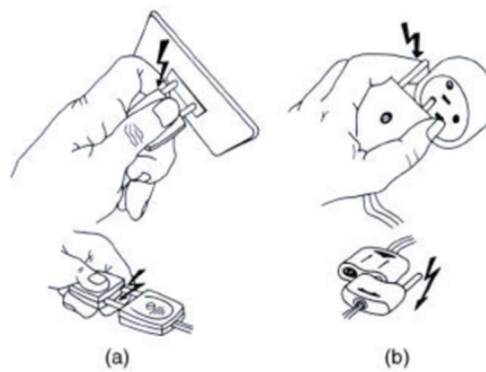


Figura 3.3 - Risco de contato acidental com um ou mais pinos dos plugues, durante sua introdução ou desconexão da tomada (a), e de inserção monopolar do plugue, ficando o outro pino acessível ao contato (b).

Fonte: QUADROS

A Figura 3.4 mostra exatamente o funcionamento da nova tomada. É possível perceber que ela impõe dificuldades a contatos acidentais a partes vivas, pela sua própria concepção física, como ocorre nas situações expostas na Figura 3.3.

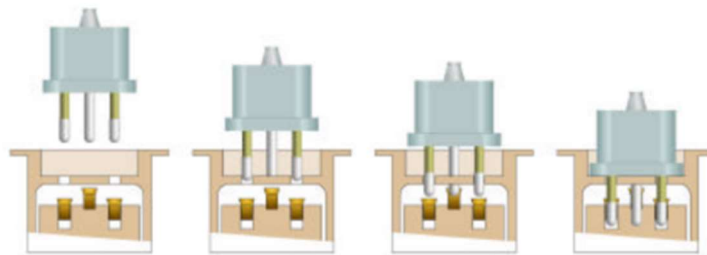


Figura 3.4 - O recuo dos contatos da tomada em relação à face de contato com o plugue, somado à exigência do rebaixo e superfície protetora elimina o risco de contato acidental com pinos vivos. Fonte:

QUADROS

A tomada normatizada 2P+T tem 3 orifícios: um onde se conecta o condutor fase, o outro onde se conecta o condutor neutro e o terceiro pino, onde se conecta o condutor de proteção, ou terra. A fase é o condutor de potencial 220 ou 127 V, dependendo da localidade do usuário, apresentando maior perigo de contato. O neutro, condutor de cor azul, surge no secundário do transformador onde é aterrado no poste onde se encontra o transformador e no medidor de energia, tem potencial próximo a 0 volts e pode oferecer risco se for tocado acidentalmente. O terra, condutor de coloração verde ou verde-amarelo, surge do aterramento de proteção e também tem potencial próximo de 0 V, sendo conectado diretamente na carcaça do equipamento elétrico de isolamento classe I. Elementos de classe II e III de isolamento não

recebem o condutor de proteção em suas carcaças e, dessa forma, apresentam plugues 2P, conectáveis à tomadas 2P ou 2P+T.

O neutro e o terra, apesar de apresentarem potenciais próximos de 0 volts, tem funções completamente distintas dentro da instalação: enquanto um permite o funcionamento dos equipamentos elétricos, o outro tem como função proteger as pessoas de choques. Essa proteção é realizada criando um caminho de baixa resistência para correntes de fuga ocasionadas por faltas que venham a expor os chassis dos equipamentos a potenciais perigosos. Essa corrente de fuga faz atuar os dispositivos de proteção da casa, seccionando o circuito em que ocorreu o problema, evitando que pessoas sejam expostas a tensões perigosas.

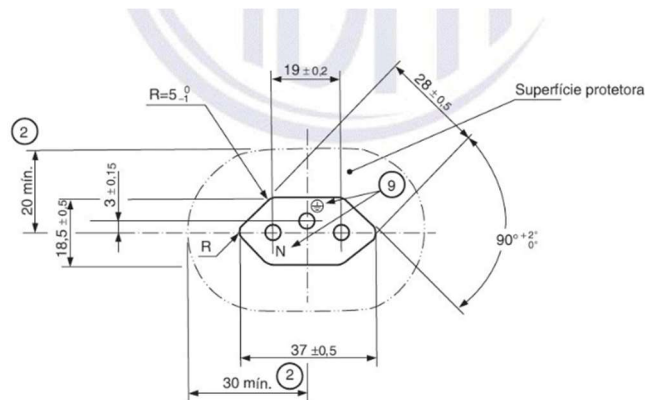


Figura 3.5: Tomada 2P+T. Fonte: NBR 14136.

Embora a norma de padronização de tomadas data de 2005, ainda é recorrente a utilização de tomadas com apenas dois orifícios, sem aterramento, e com configurações físicas que possibilitam o contato com parte viva da instalação. Continuar com esse tipo de configuração nos dias atuais coloca em risco a segurança dentro da residência, facilitando a ocorrência de choques.



Figura 3.6: tomadas antigas e tomada nova.

3.3. Problemas comuns em relação à utilização do terceiro pino

O usuário ao utilizar a tomada de padrão novo de três orifícios, acredita que está seguro quanto aos choques. Entretanto, essas tomadas podem não estar conectadas ao condutor de proteção. A troca da tomada de dois orifícios para a do novo padrão pode ter sido efetuada sem realizar o projeto de aterramento para casa, visando apenas o comodismo do usuário, uma vez que a maioria dos equipamentos apresentam plugue de 3 pinos.

Mais um problema comum caracteriza-se pela utilização de Benjamins, T's e extensões que isolam eletricamente o contato entre o aterramento do equipamento e o aterramento da tomada. Isso ocorre com frequência em situações em que a tomada é do padrão antigo de 3 pinos e o plugue do equipamento é do padrão novo de 3 pinos. A Figura 3.7 mostra exatamente qual conector usar nessa situação.

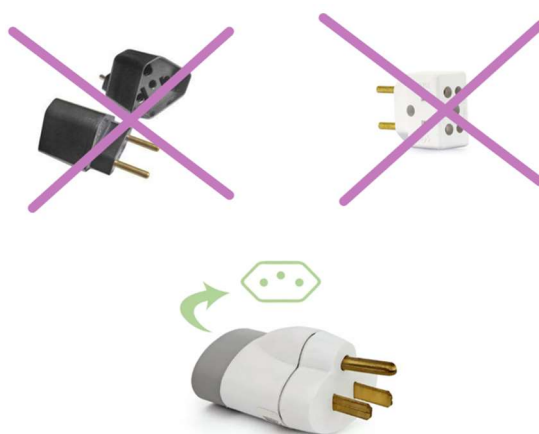


Figura 3.7 - Tipos de conectores - os que estão marcados com X são inadequados.

Finalmente, outro grande problema bastante comum, é a falta da conexão ao aterramento do condutor de proteção verde que aparecia em alguns equipamentos antes da padronização dos plugues por norma. Muitas vezes a casa já tem o aterramento, mas o usuário não conecta o fio verde do equipamento no terceiro pino das tomadas, por desconhecer sua utilidade (Figura 3.8). Outras vezes, ele faz a conexão de forma inadequada, podendo causar mal contato e, por consequência, incêndios (Figura 3.9). Também acaba conectando em pregos fixados na parede (Figura 3.10), que podem até dissipar a eletricidade estática acumulada no chassi, mas de forma alguma irá oferecer proteção contra choques oriundos da energização da carcaça por contato com condutores vivos.



Foto 3.8 - condutor de proteção do equipamento desconectado do terceiro pino.



Foto 3.9 - condutor de proteção inserido de forma inadequada no orifício de aterramento da tomada antiga.



Foto 3.10: condutor de proteção conectado a um prego na parede.

3.4. O choque elétrico

Quando as partes do corpo humano são submetidas a uma diferença de potencial, ele é percorrido por uma corrente elétrica, que pode resultar em diversos efeitos para o indivíduo, configurando, em diversas situações, condições de risco. No que concerne ao aterramento elétrico, é possível caracterizar algumas dessas situações típicas quando flui corrente por ele, sendo usual classificá-las e referenciá-las como parâmetros de restrição nos projetos de aterramentos. VISACRO FILHO (2016)

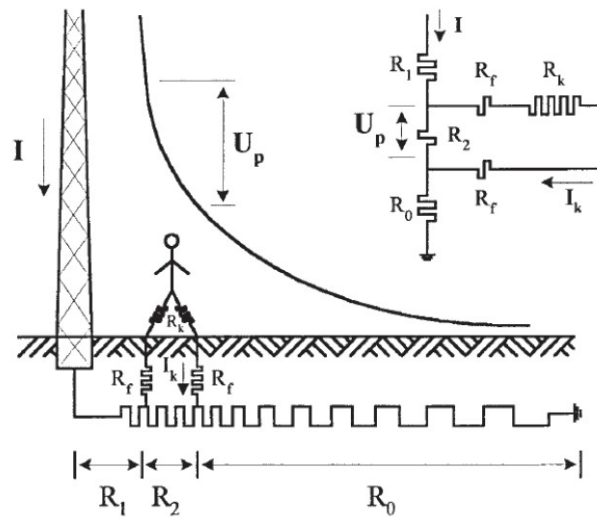


Figura 3.11 – Tensão de Passo. Fonte: VISACRO FILHO, 2016

Tensão de passo: Máxima diferença de potencial entre os pés (arbitra-se uma distância de 1m entre eles) a que ficaria submetida uma pessoa eventualmente presente na região do aterramento, durante o fluxo de corrente. VISACRO FILHO (2016)

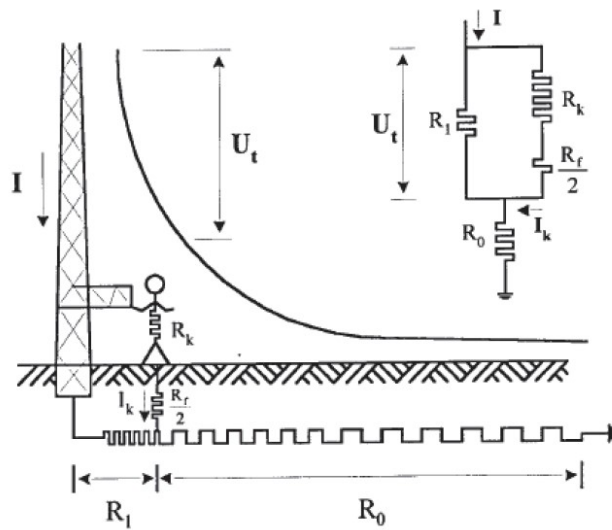


Figura 3.12 – Tensão de Toque. Fonte: VISACRO FILHO, 2016

Tensão de toque: Máxima diferença de potencial entre mão e pés a que ficaria submetida uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, que tivesse contato com uma parte metálica ligada aos seus eletrodos, durante o fluxo de corrente pelo aterramento (considera-se ambos os pés afastados de 1 metro da estrutura tocada). VISACRO FILHO (2016)

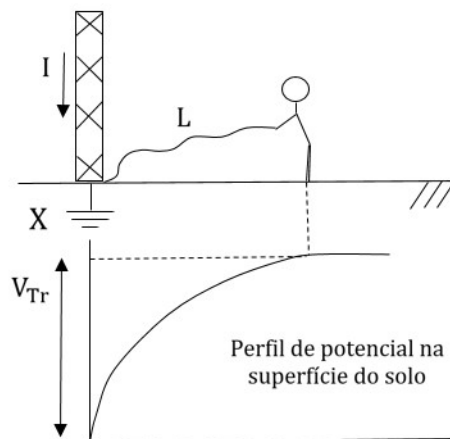


Figura 3.13 – Tensão Transferida. Fonte: VISACRO FILHO, 2016

Tensão transferida: É a elevação de potencial total da malha referida a infinito, usualmente designada GPR (Grounding Potential Rise). Constitui-se no potencial a que ficaria submetida uma pessoa posicionada no terra remoto (grande distância da malha) que tivesse

contato com uma parte metálica eventualmente conectada com os eletrodos do aterramento, durante o fluxo de corrente por ele. VISACRO FILHO (2016)

A resistência superficial do solo é uma variável de suma importância para definição da tensão de toque e de passo. De acordo com as Equações (8) e (9), retiradas de “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, para modelagem de pessoas de até 50 Kg, pode-se inferir que quanto maior a resistência superficial do solo (p), maior será a tensão (V) de toque e de passo permissíveis. Isso ocorre pelo fato de o chão se aproximar mais de um material isolante. Ainda, quanto maior o tempo de contato (t) menor será a tensão de passo e toque admissíveis.

$$V \text{ máximo (toque)} = (1000 + 1,5p) * \left(\frac{0,116}{\sqrt{t}}\right) \quad (8)$$

$$V \text{ máximo (passo)} = (1000 + 6p) * \left(\frac{0,116}{\sqrt{t}}\right) \quad (9)$$

O isolamento elétrico é um fator importante para a segurança. Imagine a situação em que uma pessoa toca na parte condutiva de um condutor fase energizado e que está com os pés descalços mantendo contato com o chão, que por sua vez tem resistência baixa em relação à terra. Essa pessoa logo sentirá uma descarga elétrica atravessar seu corpo, ocasionado pela passagem de corrente da sua mão esquerda para os seus pés. Se alguém, sem isolamento em relação ao solo, tocar a pessoa que está levando choque, ela entrará como uma resistência em paralelo com a resistência da primeira pessoa e também levará um choque.

Agora, imagine a situação em que a pessoa toca com a mão esquerda na parte condutiva de um cabo fase energizado e com a outra mão não toca em nada, e que ela está com sapatos com isolamento elétrico, ou seja, com resistência muito elevada. Nessa situação, a pessoa está em um circuito aberto e assim não irá conduzir corrente, ou seja, não sentirá o choque. Porém, nesse caso, sua pele irá adquirir o potencial do condutor energizado e irá conduzir corrente caso alguém, sem isolamento elétrico em relação ao solo, toque nela. Nesse caso, a segunda pessoa entrará como uma resistência em série em relação à primeira pessoa.

A primeira situação, em que as resistências das pessoas ficam em paralelo, é mais perigosa do que a segunda situação, em que as resistências das pessoas ficam em série. A corrente que atravessa os corpos da primeira situação pode ser até duas vezes maior que a corrente que atravessa os corpos na segunda situação.

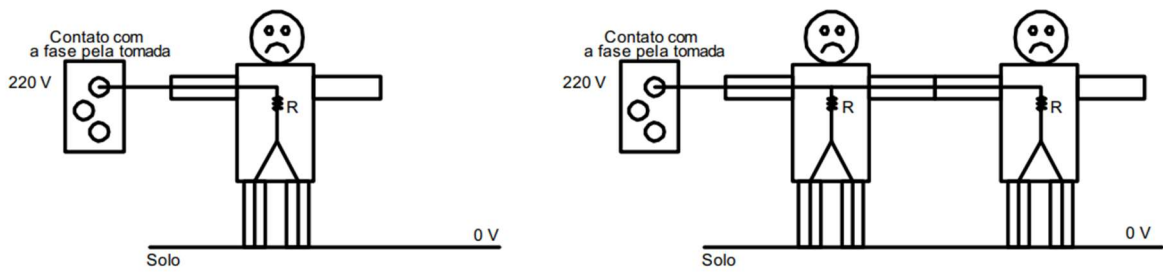


Figura 3.14 - Situação de choque em paralelo.

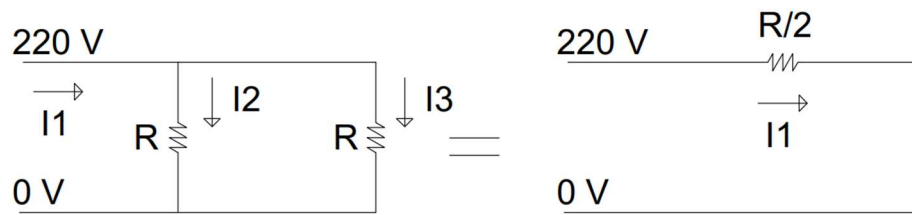


Figura 3.15 - Modelagem do choque em paralelo ($I_2=I_3=220/R$).

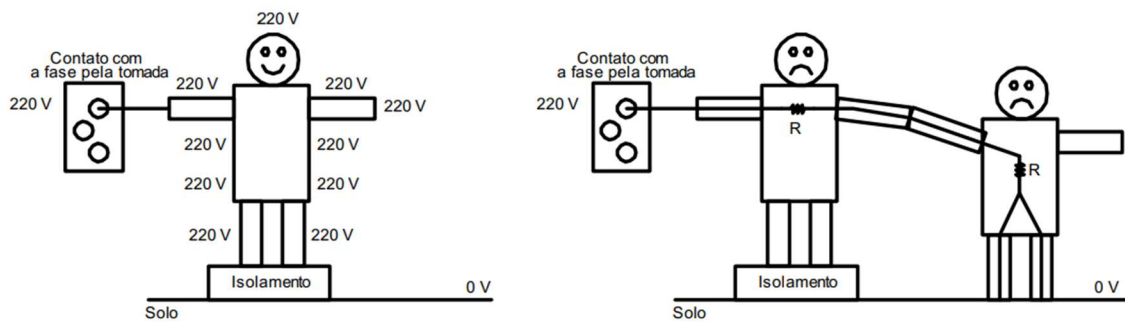


Figura 3.16 - Situação de choque em série.

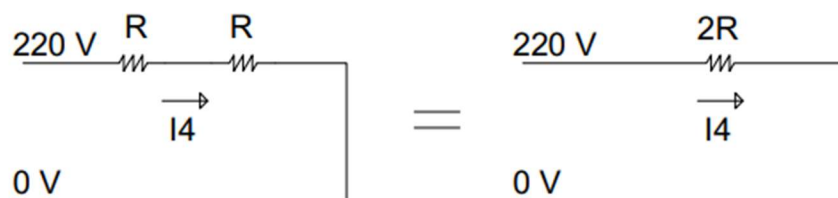


Figura 3.17 - Modelagem do choque em série ($I_4 = 110/R = I_2/2$).

Para efeito de simplificação de cálculo, as resistências das duas pessoas foram consideradas aproximadamente iguais. Porém, essas resistências mudam em torno de um valor de pessoa para pessoa. A resistência entre mãos também não é igual a resistência entre mão e pés.

As correntes perigosas ao corpo humano, segundo a norma IEC 60479-1:2018 estão explicitadas na Figura 3.18.

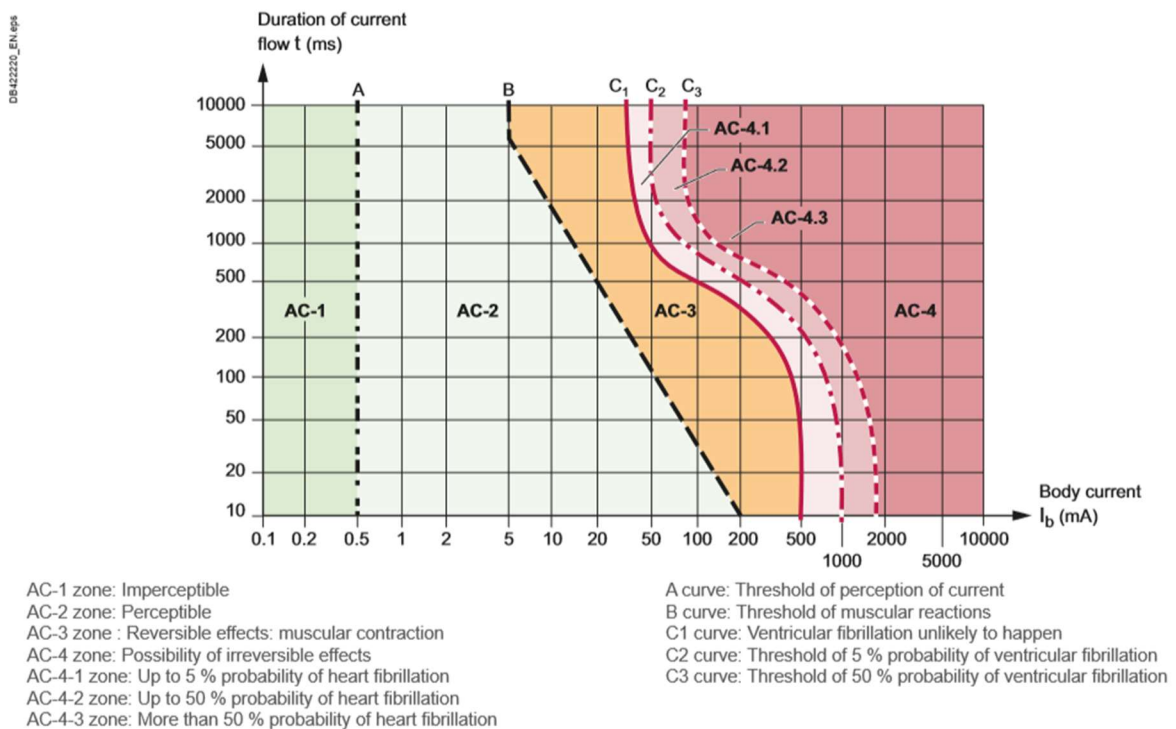


Figura 3.18 - Correntes de contato e suas consequências. Fonte: PROTECTION,2018

A Figura 3.18 mostra que correntes de 30 mA já são suficientemente altas para provocar efeitos irreversíveis pois atinge a curva C1 (cor vermelha contínua). Essa corrente elétrica tem magnitude muito inferior às correntes solicitadas pelos equipamentos elétricos dentro de casa. Como exemplos, a corrente de uma geladeira ultrapassa 1800 mA, enquanto uma corrente de um chuveiro elétrico ultrapassa 20.000 mA.

Vários fatores influenciam nas consequências da passagem de corrente elétrica pelo corpo humano, dentre eles: percurso no corpo, intensidade e duração do choque, diferença de potencial exposta ao corpo, condições orgânicas do indivíduo e tipo de corrente elétrica.

A pele é um dos elementos do corpo humano que oferece grande resistência à corrente elétrica reduzindo drasticamente em função do aumento da diferença de potencial. Dependendo

das situações ambientais a que ela está exposta, sua resistência diminui, conforme demonstrado na Tabela 3.1, retirada da NBR 5410:2004.

Classificação	Características	Aplicações e exemplos
Alta	Condições secas (5000 ohms)	Circunstâncias em que a pele está seca
Normal	Condições úmidas	Passagem da corrente de uma mão à outra ou de uma mão ao pé, com a pele úmida de suor, sendo a superfície de contato significativa
Baixa	Condições molhadas	Passagem de corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés
Muito Baixa	Condições imersas (150 ohms)	Pessoas imersas na água, por exemplo em banheiras e piscinas

Tabela 3.1 - Resistência elétrica do corpo humano. Fonte: NBR 5410:2004

O ser humano é bastante vulnerável aos efeitos da corrente elétrica a frequências de 50 ou 60 Hz. Pesquisas indicam que o corpo humano consegue tolerar correntes alternadas (CA) com frequências na ordem dos 25 Hz e correntes contínuas (CC) 5 vezes superiores. Estudos de *Dalziel* revelam que para frequências entre 3000 e 10000 Hz o corpo humano pode tolerar correntes mais elevadas, como é também exemplo o caso de descargas atmosféricas. (FLORES, 2014).

Segundo COTRIM (2009), devem-se considerar dois tipos de contatos de exposição:

- Direto: existe contato direto com a parte viva de uma instalação elétrica;
- Indireto: não existe contato direto com a parte viva; o contato das pessoas com a massa sob tensão é causado por falha de isolamento ou aterramento

Nas situações de choques através do contato a uma massa que se tornou acidentalmente energizada, tem-se a junção de 3 fatores: resistência baixa do caminho corpo até a terra, uma falha do equipamento que faz com que a carcaça fique energizada e a inexistência ou ineficiência da conexão do terceiro pino desses equipamentos com o aterramento de proteção da casa.

O choque só ocorre se os 3 fatores citados acontecerem concomitantemente. O primeiro fator, relativo a resistência do percurso massa-pessoa-terra, poderia ser contornado se todos os usuários passassem a vestir roupas completamente isolantes, cobrindo o corpo todo, em uma espécie de roupa de astronauta. É evidente que isso é completamente inviável. O segundo fator, relativo a falha do equipamento, não tem nenhuma solução, visto que falhas são eventos aleatórios. O terceiro fator, relativo à correta conexão do aterramento do equipamento com o aterramento de proteção da casa, é o único fator que pode ser realmente atacado. Dessa forma, a adequação do aterramento constitui-se o único meio totalmente confiável e viável para evitar a ocorrência de choques em chassis de equipamentos dentro da residência.

Na situação em que o choque acontece por contato com parte viva, a utilização das novas tomadas já garante uma ótima proteção para os usuários. Outra forma de diminuir ainda mais os riscos quanto a esse tipo de choque é a disseminação de conhecimentos básicos sobre instalações elétricas para a população leiga.

A NBR 5410 definia proteção contra choques por contato direto e proteção contra choques por contato indireto. Essas definições foram atualizadas para “proteção básica” e “proteção supletiva”, segundo nota do item 5.1.1.1:

2 Os conceitos de “proteção básica” e de “proteção supletiva” correspondem, respectivamente, aos conceitos de “proteção contra contatos diretos” e de “proteção contra contatos indiretos” vigentes até a edição anterior desta Norma.

Os itens 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 da NBR 5410:2004 definem as três proteções contra choques:

3.2.2 proteção básica: Meio destinado a impedir contato com partes vivas perigosas em condições normais.

3.2.3 proteção supletiva: Meio destinado a suprir a proteção contra choques elétricos quando massas ou partes condutivas acessíveis tornam-se acidentalmente vivas.

3.2.4 proteção adicional: Meio destinado a garantir a proteção contra choques elétricos em situações de maior risco de perda ou anulação das medidas normalmente aplicáveis, de dificuldade no atendimento pleno das condições de segurança associadas a determinada medida de proteção e/ou, ainda, em situações ou locais em que os perigos do choque elétrico são particularmente graves.

Segundo a NBR 5410:2004, a proteção básica é caracterizada pela isolamento das partes vivas e/ou pelo uso de barreiras ou invólucros; a proteção supletiva é assegurada,

conjuntamente, por equipotencialização, através de condutores de proteção exigidos em toda a extensão dos circuitos e ligadas a todas as massas da instalações, salvo alguns casos, e pelo seccionamento automático da alimentação, através de dispositivos como Disjuntor e DR, a depender do esquema de aterramento adotado na residência; e finalmente, a proteção adicional é realizada por meio de equipotencializações suplementares e o uso de proteção diferencial-residual de alta sensibilidade, ou seja, de corrente diferencial residual de atuação nominal igual ou inferior a 30 mA.

O dispositivo de proteção diferencial-residencial é obrigatório, segundo a NBR 5410 item 5.1.3.2.2, nos seguintes casos:

- a) os circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo banheira ou chuveiro (ver 9.1);*
- b) os circuitos que alimentem tomadas de corrente situadas em áreas externas à edificação;*
- c) os circuitos de tomadas de corrente situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos no exterior;*
- d) os circuitos que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens;*
- e) os circuitos que, em edificações não-residenciais, sirvam a pontos de tomada situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.*

Esses dispositivos são instalados no quadro elétrico e tem aspectos semelhante com um disjuntor, de forma que um usuário leigo não consegue diferenciá-los. No mercado brasileiro existem três variações desse equipamento: IDR, DDR e o módulo DR. O IDR é o interruptor DR, ou apenas DR, ele só tem a função de proteção contra correntes diferenciais residuais – em sua carcaça vem gravado a sigla RCCB ou RCD. O DDR é um Disjuntor-DR, ou seja, ele tem a proteção contra sobrecorrentes e contra correntes diferenciais-residuais – em sua carcaça vem gravado a sigla RCBO. O módulo DR é um interruptor DR que pode ser acoplado a um disjuntor. Existem outros equipamentos que fornecem a proteção contra correntes diferenciais residuais. Nos EUA, por exemplo, é comum a utilização de tomadas com proteção diferencial-residual incorporada, o que não acontece no Brasil.

O funcionamento de um dispositivo DR é simples: ele faz a verificação da corrente demandada pela fase de um circuito e a corrente de retorno pelo neutro do mesmo circuito, se essas correntes se diferenciarem de mais que 30 mA, no caso de um DR de 30 mA, o dispositivo secciona a alimentação. Essa diferença de corrente entre fase e neutro ocorre quando a instalação elétrica apresenta correntes de fuga provenientes do contato acidental da parte viva dos condutores em peças metálicas como carcaças, tubulações, ou até mesmo no próprio corpo humano.

Para finalizar, é possível utilizar o DR sem que a casa disponha de um sistema de aterramento. Porém, nesse caso, o dispositivo não irá evitar o choque, pois ele só irá atuar quando algum elemento (inclusive o corpo humano) servir de caminho para a corrente de fuga. No caso da utilização do DR com o sistema de aterramento de proteção, o dispositivo irá seccionar a alimentação antes mesmo que a pessoa toque a massa energizada, pois existirá o caminho para corrente de fuga através do condutor de proteção.

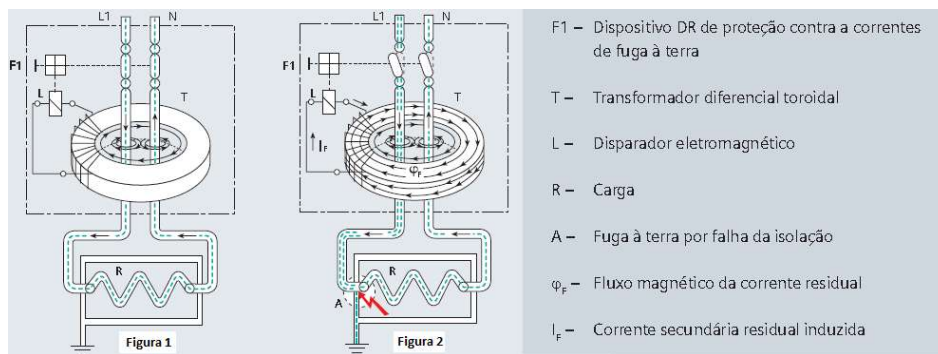


Figura 3.19 - Esquema explicativo de funcionamento do DR. Fonte: Catalogo de produtos da Siemens



Figura 3.20 - DR monopolar (à esquerda), DDR (meio) e tomada com proteção diferencial residual (à direita).

Fonte: catálogo de produtos da Siemens e Contactum

4. FUNDAÇÕES

A determinação do tipo de fundação a ser escolhida está intimamente atrelada ao tipo de edificação à qual ela deve atender, e à resistência do solo sobre o qual esta será construída.

A resistência do solo pode ser determinado por diversos tipos de sondagem, dentre os quais, o mais comumente executado no Brasil é o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*). Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2001), este consiste na determinação de um índice de resistência à penetração que, por sua vez, se determina pelo número de golpes correspondentes à cravação de 30 cm de um amostrador padrão, depois de já terem sido cravados 15 cm iniciais. De posse desse índice é possível calcular a tensão resistente do solo a uma determinada profundidade e escolher qual o tipo de fundação mais adequada ao conjunto de cargas solicitadas e cargas resistidas pelo solo.

Os principais tipos de fundações se dividem entre fundações profundas e rasas, podendo ser usados mais de um tipo delas por edificação, a depender das cargas solicitantes e resistência do solo. A seguir, serão apresentadas definições destes tipos segundo a NBR 6122 (ABNT, 1996).

4.1. Fundações Profundas

São elementos de fundação que transmitem o carregamento proveniente da estrutura ao terreno por meio de sua base, pela sua superfície lateral, ou pelo conjunto das duas. Elas são assentadas a uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo a 3 metros de profundidade, exceto em casos específicos de solos pouco coesos e/ou resistentes.

Nesse grupo as mais executadas são as fundações do tipo estaca e tubulão, apresentadas a seguir.

4.1.1. Estaca

Elementos executados sem que haja descida de operários na cavidade onde será concretada a fundação. Podem ser feitas de madeira, aço ou concreto armado, podendo estas serem pré-moldadas ou moldadas *in loco*.

As estacas podem ser usadas sozinhas ou em grupos com duas ou mais estacas unidas por um bloco de coroamento, que visa distribuir as cargas igualmente entre elas. Sua armadura é amarrada aos blocos de fundação ou à viga baldrame.

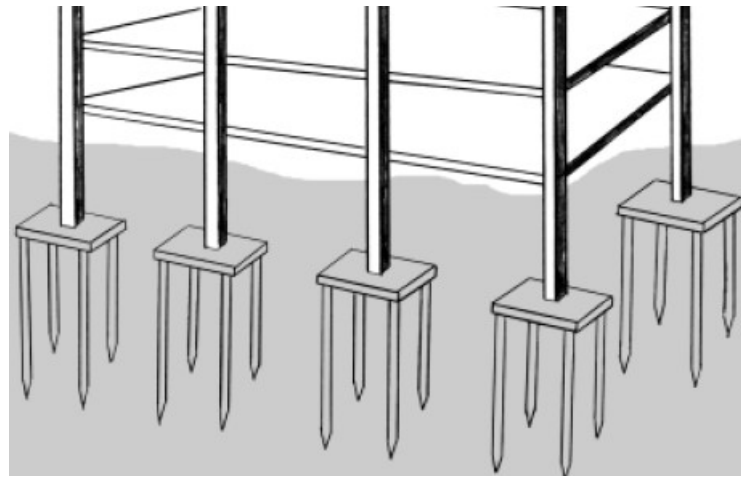


Figura 4.1 – Fundação profunda do tipo estaca. Fonte: Modificado de ABCP (2003)

4.1.2. Tubulão

Elemento de fuste cilíndrico e base alargada, cuja execução usualmente necessita da descida de operários. Podem ser executados com ou sem revestimentos, os quais podem ser de concreto armado ou metálicos.

Tubulões são fundações usadas para receber grandes cargas, uma vez que têm grande capacidade de distribuição destas tanto pela superfície lateral quanto pela da base. Suas armaduras são amarradas aos blocos de fundação ou à viga baldrame.

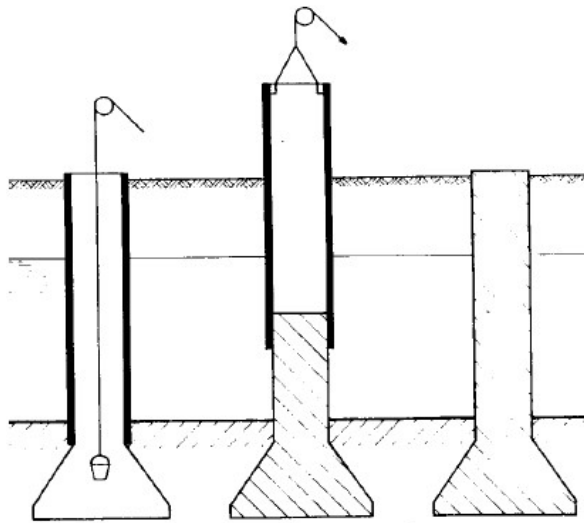


Figura 4.2 – Fundação profunda do tipo tubulão. Fonte: Barros (1996)

4.2. Fundações Superficiais (ou Rasas ou Diretas)

São elementos de fundação que transmitem o carregamento proveniente da estrutura ao terreno, principalmente por meio da superfície de sua base. A profundidade na qual são assentadas não deve ultrapassar duas vezes a menor de suas dimensões em planta. Por serem rasas, transmitem as cargas ao solo por meio de uma superfície específica e pelo consumo reduzido de materiais e mão-de-obra, esse grupo constitui-se como o mais apropriado às casas e edificações térreas, ou até de dois pavimentos, devido aos carregamentos relativamente baixos que estas apresentam.

Nesse grupo os tipos de fundação mais comumente executados são as sapatas, blocos e vigas de fundação, sendo também apresentado aqui a do tipo *radier* para fins de conceituação do presente trabalho.

4.2.1. Viga de fundação (ou Viga Baldrame)

Elemento de comum a vários pilares, cujos centros, em planta estejam alinhados. É executada em concreto armado e acompanha o desenho das paredes do pavimento térreo,

servindo para distribuir seu peso e, ao mesmo tempo, travar os pilares e as sapatas isoladas abaixo deles. Ela transfere as cargas e tensões dos pilares aos demais elementos de fundação. Sua armadura é amarrada à armadura de arranque dos pilares.

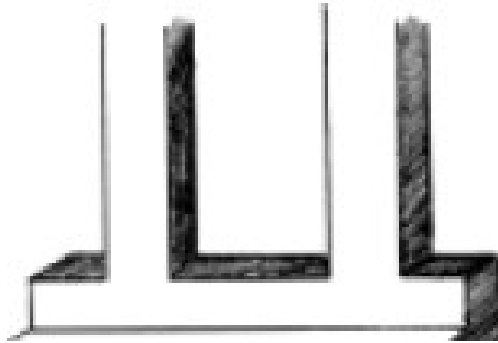


Figura 4.3 – Viga baldrame. Fonte: Modificado de ABCP (2003)

4.2.2. Radier

Elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra, bem como carregamentos distribuídos específicos, como de tanques e depósitos. Funciona como uma única fundação para toda a edificação, de forma a distribuir as cargas proveniente desta sobre uma superfície abrangente o suficiente para garantir que o solo resista ao carregamento aplicado.

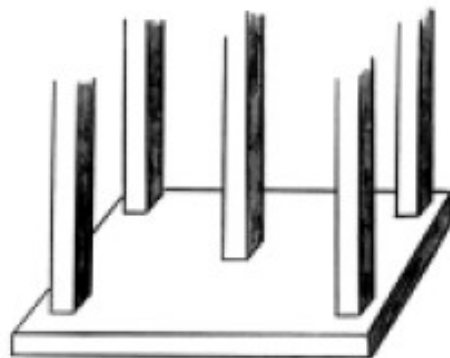


Figura 4.4 – Radier. Fonte: Modificado de ABCP (2003)

4.2.3. Bloco

Elemento de fundação rasa dimensionado para que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas unicamente pelo concreto que o compõe, sem necessitar armadura de aço. Sua seção transversal pode ter formato quadrado, retangular, trapezoidal e até mesmo escalonado, como uma escada. Sua seção em planta tem formato de quadrado ou retângulo, a depender do projetista. Sua armadura é amarrada à viga baldrame.



Figura 4.5 – Bloco. Fonte: Modificado de ABCP (2003)

4.2.4. Sapata Isolada

Elemento de fundação feito de concreto armado que se assemelha ao bloco, porém possui dimensões de base maior e é dimensionado para que sua armadura de aço resista às tensões de tração ao invés do concreto.

A sapata é o elemento mais utilizado para casas de um a dois pavimentos por garantir boas estabilidade e distribuição de tensões no solo, a um custo intermediário entre o das fundações rasas convencionais e as opções de fundações profundas.

Sua armadura é amarrada à do pilar, que dá continuidade à estrutura da edificação por meio de fios de aço, e não fica em contato direto com o solo. A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que o cobrimento (camada de concreto que recobre e protege a armadura) deve ser

de 2 a 5,5 centímetros, dependendo do elemento estrutural e da classe de agressividade do ambiente. Para os elementos de fundação, que ficam em contato direto com o solo, o cobrimento vai de 3 a 5 centímetros de espessura.

Além do cobrimento, para sapatas e blocos é feito uma camada regularização com cerca de 5 centímetros de concreto magro sob a fundação, para evitar que a umidade proveniente do solo ataque sua armadura.

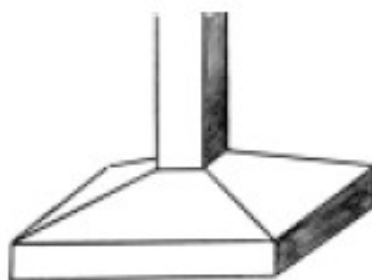


Figura 4.6 – Sapata. Fonte: Modificado de ABCP (2003)

4.3. Armaduras de aço e conexão entre fundação e pilar

O aço utilizado nas barras da armadura é feito de uma liga de Ferro e Carbono e é obtido exclusivamente por meio de laminação a quente. As armaduras se diferenciam umas das outras pelo diâmetro nominal da seção transversal da barra, determinado em milímetros, e pela resistência do aço empregado nelas, determinado em MPa.

As barras geralmente apresentam nervuras, as quais servem de travamento para evitar a movimentação de uma barra sobre a outra, o que garante o contato e coesão entre elas. Além das nervuras, as armaduras dos elementos estruturais que têm contato um com o outro (estaca com bloco, bloco com viga baldrame, bloco com pilar) são amarradas umas às outras com fios de aço, para garantir a transmissão de esforços e para o presente trabalho, garantir a transmissão de energia elétrica.

A NBR 6118 dispõe sobre essas interconexões ao exigir a ancoragem das armaduras das fundações às armaduras de arranque dos pilares.

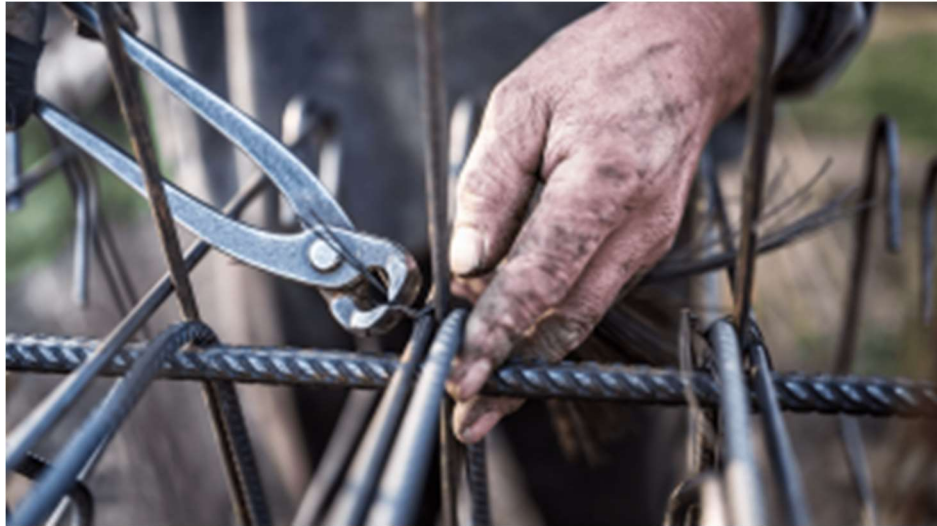


Figura 4.7: Conexão entre armaduras - Fonte: blogpraconstruir

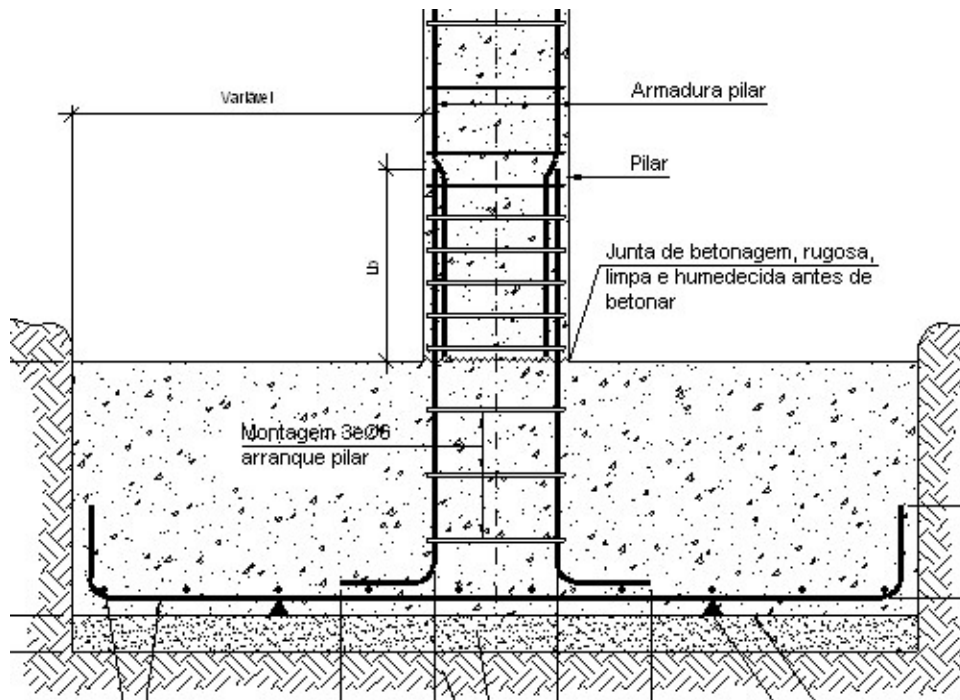


Figura 4.8: Armadura do pilar e distância de transpasse - Fonte: pormenoresconstrutivos

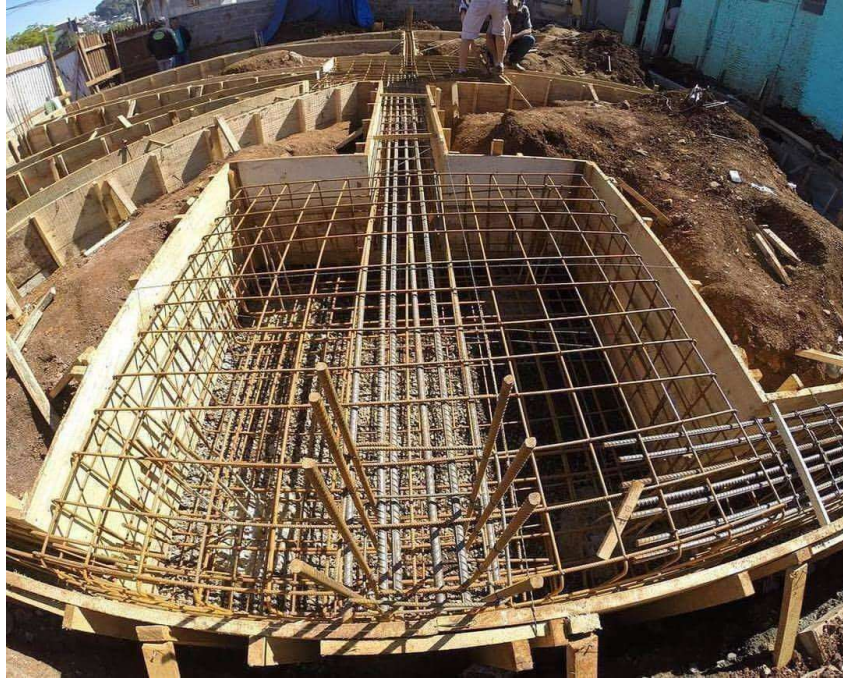


Foto 4.9 - Armadura do pilar, viga baldrame e bloco estão amarradas entre si.

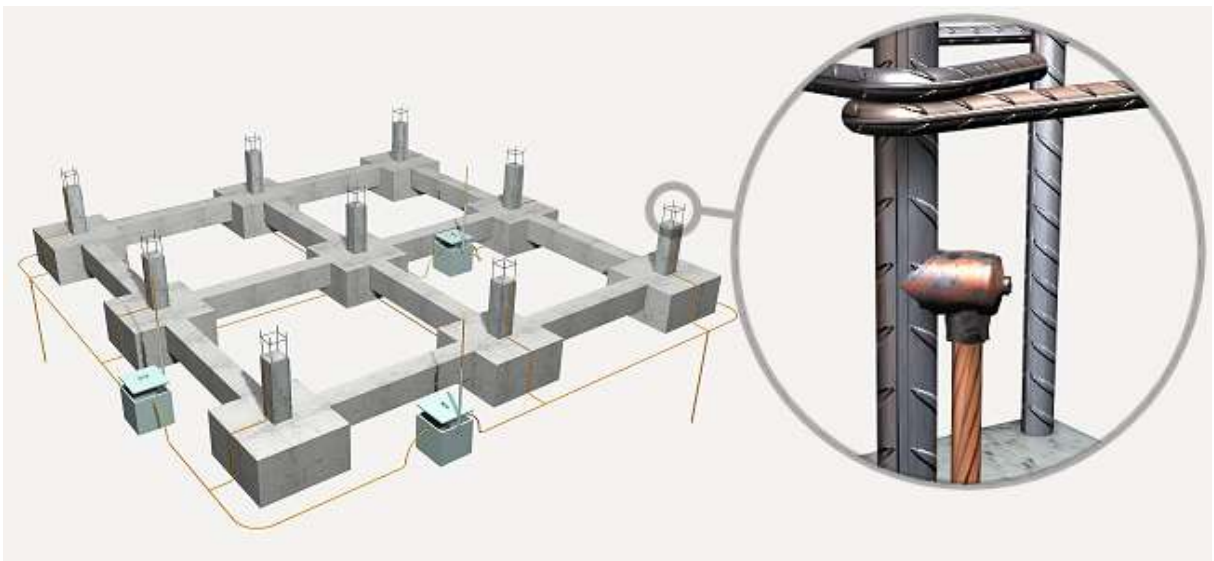


Figura 4.10 - Aterramento em malha conectada à fundação. Fonte: generadordeprecios

5. DADOS DE CAMPO

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos, dados recolhidos e resultados dos experimentos de conexão do aterramento em armadura de pilares.

5.1. Escolha dos ambientes para análise e método utilizado

Inicialmente foram realizados testes nas armaduras de pilares descobertos na Faculdade de Tecnologia e no SG-11 – ambas edificações pertencentes à UnB -, em armaduras das vigas da laje superior do SG-11 e em uma talhadeira inserida no solo da FT. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios e serão discutidos na análise dos dados.



Figura 5.1 - Teste realizado com armadura das vigas da laje superior do SG-11.

A FT e o SG-11 são edificações mais complexas do que casas comuns, objeto de estudo desse trabalho, porém forneceram insumos para acreditar que os testes em casas também seriam satisfatórios.

Em continuidade das pesquisas de campo, foram realizados no município Campo Maior, no Piauí, dois experimentos em duas casas distintas (casa 1 e casa 2). A escolha configurou-se interessante pois os maiores problemas de aterramento são encontrados em cidades do interior. Uma vez que a maioria das obras nessas cidades não são executadas por engenheiros.

As duas casas em que foram feitos os testes também demonstraram bons resultados. A casa 1, em particular, estava precisando urgentemente de um aterramento pois já estava apresentando um histórico considerável de choques na máquina de lavar roupas e no fogão. Ao aproximar o aparelho de detecção de tensão eZAlert II, da Minipa, a uma distância de 40 centímetros do fogão, o aparelho já começava a emitir sinal luminoso de detecção de tensão, mostrando que a sua carcaça estava realmente energizada com um alto potencial.

Nos quatro experimentos foram utilizados kits desenvolvidos pelo Professor Alcides Leandro, orientador deste trabalho, e pela autora. Os kits mostrados nas Figuras 5.2 e 5.3 foram desenvolvidos para facilitar as medições e para garantir segurança quanto a choques.

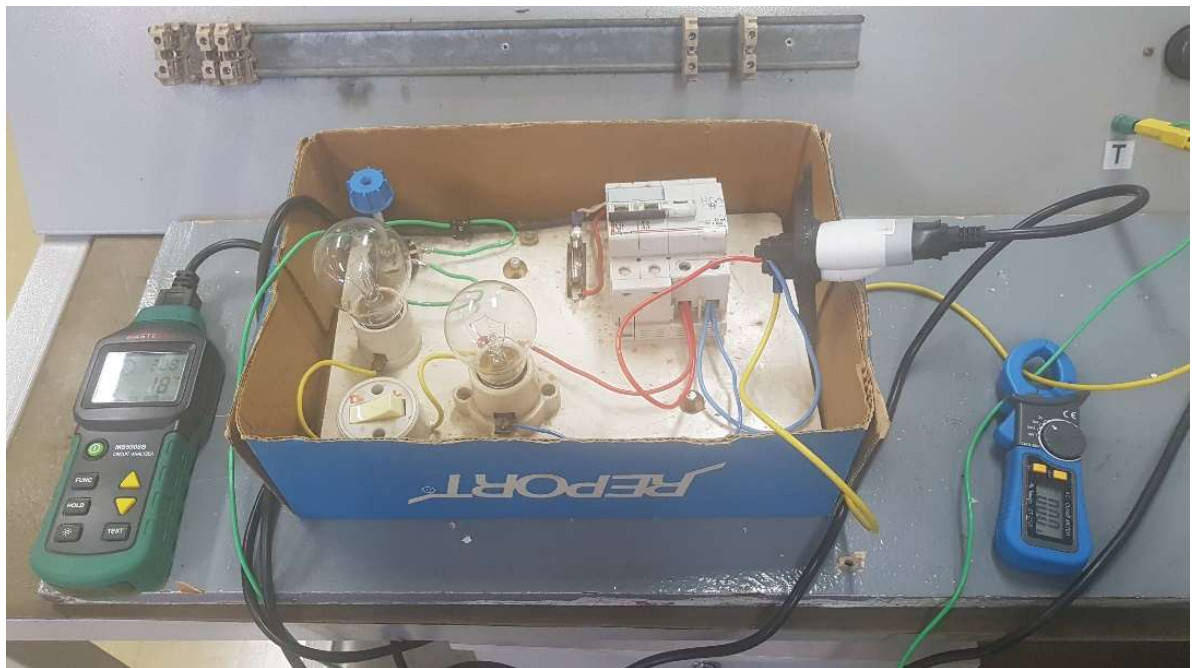


Figura 5.2 - Kit utilizado nos testes realizados na FT e no SG-11.

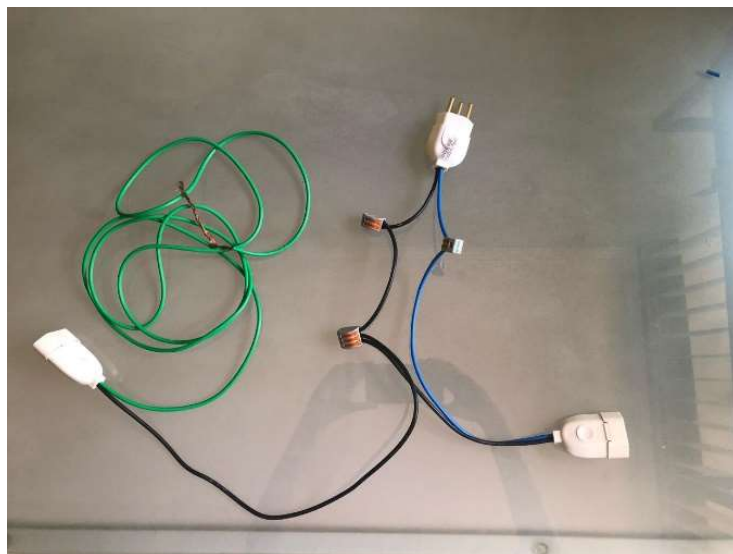


Foto 5.3 - Kit utilizado nos testes realizados nas duas casas de Campo Maior.



Foto 5.4 – Kit conectado utilizado nos testes realizados nas duas casas de Campo Maior.

Todos os aterramentos criados foram do tipo TT, dessa forma, o aparelho escolhido para simular a proteção foi o DR, visto que segundo a NBR 5410:2004 o disjuntor não poderia ser utilizado nesse caso. Além disso, para verificar a atuação do disjuntor, seria necessário provocar um curto-circuito perigoso entre fase e terra, o que poderia provocar sérios problemas na instalação elétrica da edificação, como até mesmo incêndios.

O princípio das medições baseou-se em realizar uma análise qualitativa do aterramento proposto, inserindo o sistema de aterramento composto por eletrodo e solo, como elemento de circuito e verificando sua resistência.

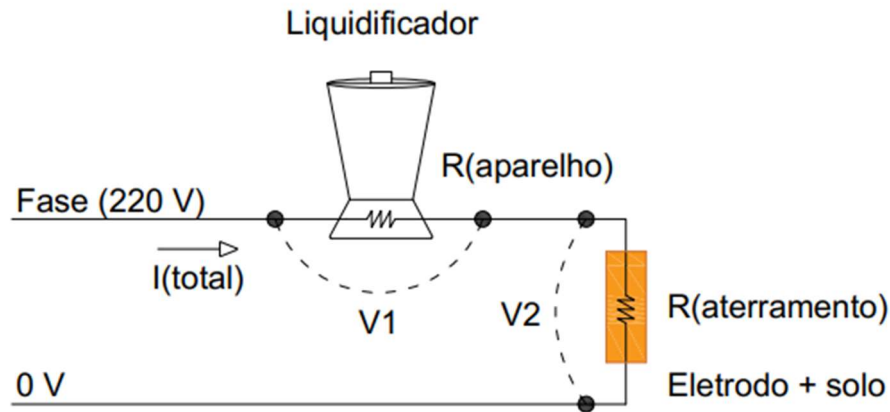


Figura 5.5 - Princípio da verificação da qualidade do aterramento proposto.

Observando a Figura 5.5 pode-se aplicar o princípio do divisor de tensão, retirado de IRWIN (2010):

$$V1 = \frac{R(\text{aparelho})}{R(\text{aparelho}) + R(\text{aterramento})} \times 220 \quad (5.1)$$

Como a tensão de operação do aparelho gira em torno de 220 V, é necessário que $R(\text{aterramento})$ seja a menor possível, praticamente desprezível em relação à $R(\text{aparelho})$. Se a medição da tensão $V1$ apontar valor próximo à tensão de fase-neutro e o equipamento funcionar normalmente, significa que o aterramento realizado apresenta uma resistência satisfatória e adequadamente baixa.

A exigência do valor inferior a 10 ohms para essa resistência foi retirada da norma, de forma que as medições realizadas são apenas para verificar a qualidade. Assim, utilizar o método proposto torna-se bastante conveniente em situações em que não se tem acesso à aparelhos mais precisos, como o Terrômetro. Afinal, mais relevante que saber exatamente o valor exato da resistência do aterramento proposto, é poder tornar a análise mais fácil, de forma que eletricitas que não tenham acesso a esses aparelhos mais caros também possam executar

um aterramento, testa-lo, e resolver o problema de pessoas que estão completamente em risco dentro da própria casa.

O método proposto tem como base a medição da impedância do percurso de falta, método 1 do Anexo K da NBR 5410:2004. É, portanto, um método válido.

5.2. Procedimentos e análise qualitativa no SG-11

O kit utilizado para fazer a análise qualitativa foi o da Figura 5.2. A Figura 5.6 e Figura 5.7 mostram o funcionamento do kit.

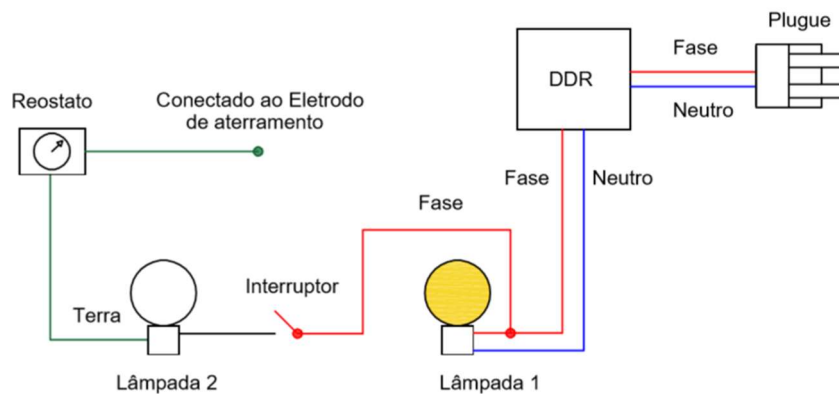


Figura 5.6 - funcionamento do kit para teste do aterramento – interruptor desligado.

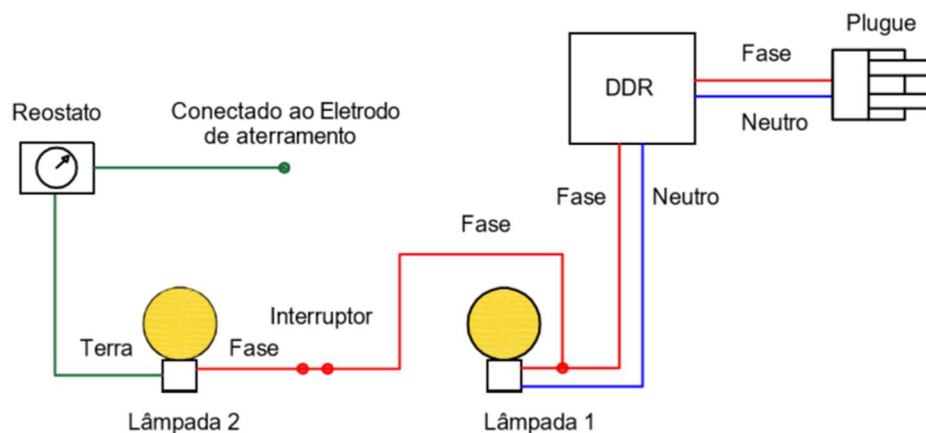


Figura 5.7 - funcionamento do kit para teste do aterramento – interruptor acionado.

O procedimento de teste foi o seguinte:

- 1º - Mediu-se tensão de fase e neutro na tomada em que seria inserido o plugue;
- 2º - Conectou-se o plugue na tomada da edificação com o interruptor em aberto;
- 3º - Conectou-se o condutor saindo do reostato ao eletrodo de aterramento;
- 4º - Acionou-se o interruptor e variou-se o reostato, até a interrupção pelo DDR;
- 5º - Mediu-se, através de um alicate amperímetro, o valor de corrente de desarme do DDR.

Os eletrodos utilizados para teste nessa edificação foram: armadura acessível de um pilar danificado e armadura de uma viga da laje da cobertura. Os resultados obtidos para as duas medições demonstraram que o aterramento realizado utilizando esses eletrodos foram satisfatórios, pois ocorreu o desarme do DDR para correntes extremamente próximas ao valor nominal do dispositivo de 30 mA. O teste foi repetido utilizando uma furadeira ao invés de duas lâmpadas.

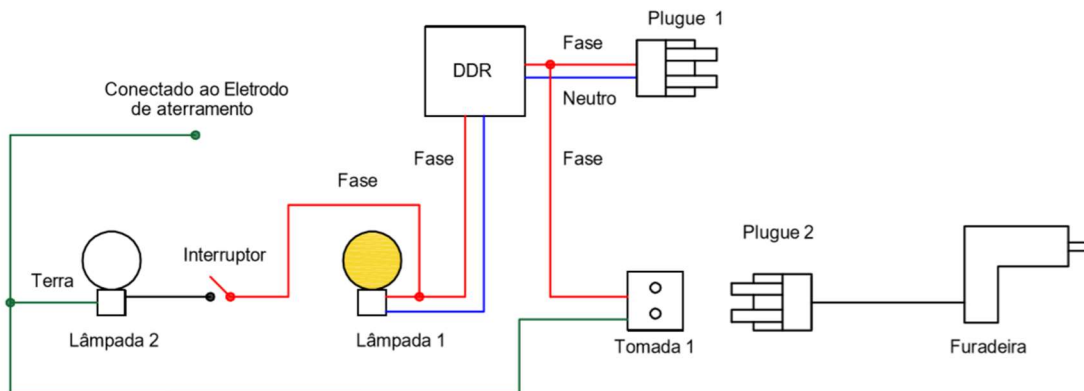


Figura 5.8 - funcionamento do kit para teste do aterramento sem DR – utilizando furadeira.

A o plugue 2 da furadeira foi inserida na tomada 1 da Figura 5.8 e o plugue 1 foi inserido na tomada da edificação. A furadeira foi então acionada para verificar seu funcionamento. Os resultados foram satisfatórios pois a furadeira funcionou como se estivesse ligada na tensão fase-neutro.

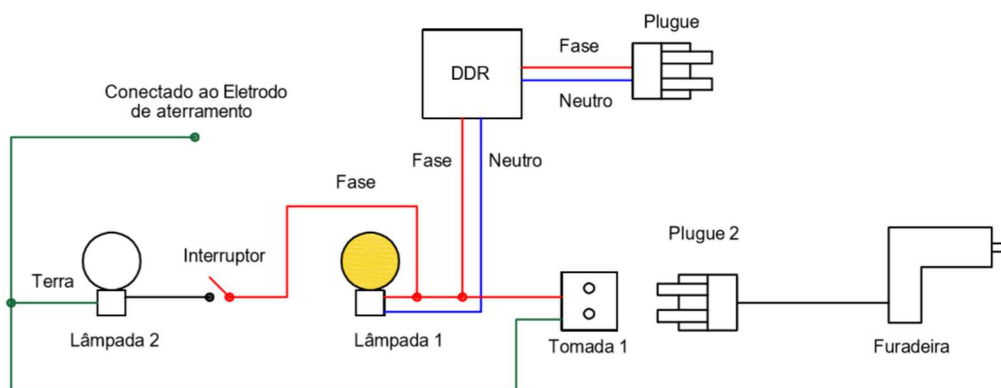


Figura 5.9 - funcionamento do kit para teste do aterramento com DR – utilizando furadeira.

Após verificar o funcionamento da furadeira, foi inserido novamente o DDR no circuito e foi verificado sua atuação quando se acionava o equipamento. O DDR atuou após atingir o valor muito próximo de 30 mA. Portanto o resultado foi bastante satisfatório pois demonstrou que a resistência daquele eletrodo era baixa e que o DR poderia ser utilizado no sistema visando a proteção contra choques.

5.3. Procedimentos e análise qualitativa na FT

Repetiu-se os procedimentos executados no SG-11 para a FT. Neste caso foram escolhidos dois eletrodos de aterramento: a armadura exposta de um pilar danificado e uma talhadeira inserida no solo.

Os resultados obtidos para a armadura expostas foram tão satisfatórios quanto os resultados obtidos nos testes do SG-11: a furadeira funcionou normalmente e o DDR atuou em todas as situações. Porém, o resultado para a talhadeira foi completamente diferente: a tensão de fase-eletrodo acusou tensão muito próxima da tensão fase-neutro porém a furadeira não funcionou e o DDR também não. Esse resultado mostrou que o eletrodo talhadeira inserida no solo constituiu um mau eletrodo de aterramento.

5.4. Procedimentos e análise dos dados na casa 1

Para os testes realizados nas casas em Campo Maior, no estado do Piauí, foi utilizado outro kit, porém que seguia o mesmo princípio de medição do anterior. Nesses dois casos foram anotados os valores encontrados de tensão e corrente para posterior análise mais rigorosa.

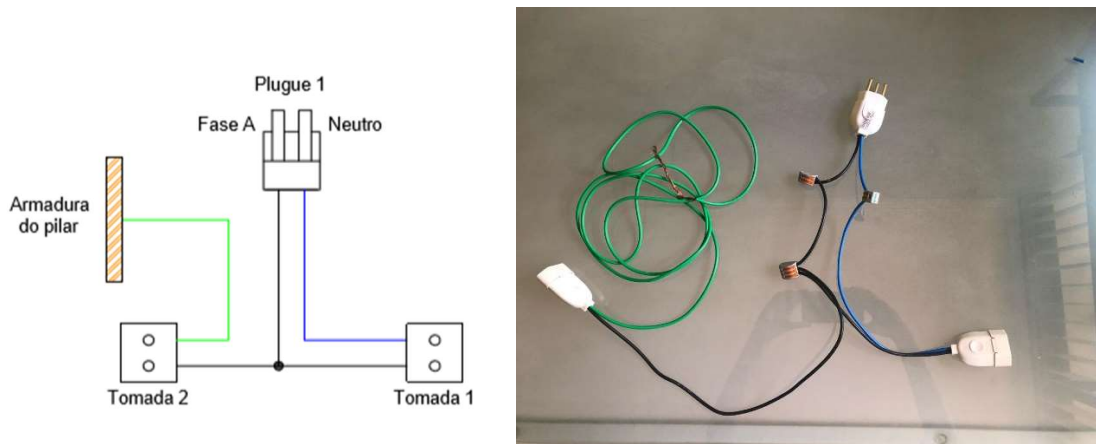


Figura 5.10 - Esquema de montagem do kit para realização do experimento sem o DR.

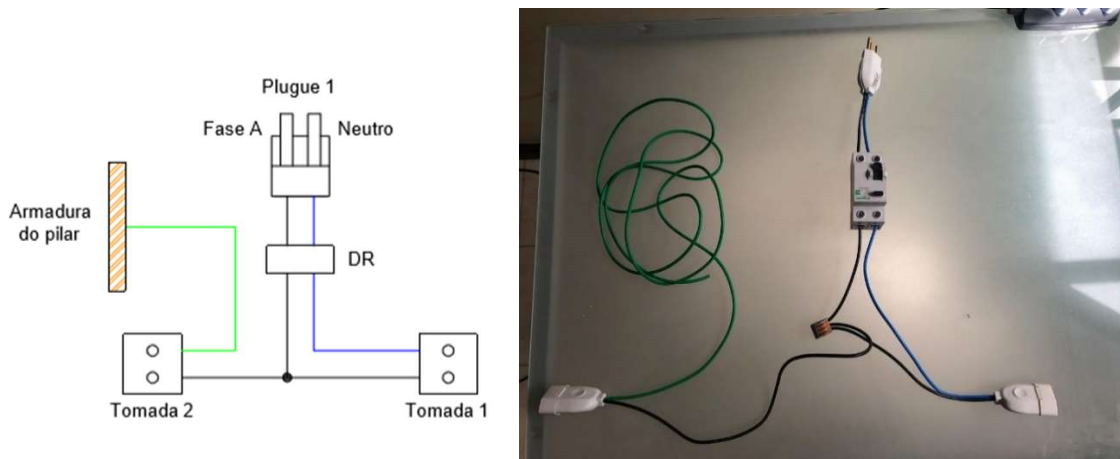


Figura 5.11 - Esquema de montagem do kit para realização do experimento com o DR.

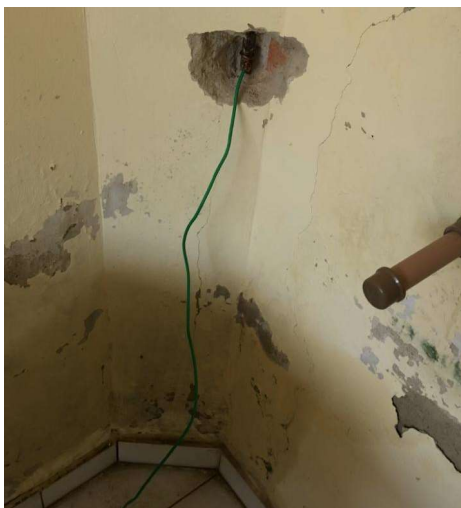


Figura 5.12 – Conexão do condutor verde ao eletrodo de aterramento proposto (armadura do pilar).

A casa 1 estava com sérios problemas de choques na máquina de lavar, na geladeira e no fogão. Além disso, as tomadas da casa eram ainda do padrão antigo, de dois pinos, sem aterramento e sem proteção contra choques.

Para a montagem do kit, utilizou-se:

- Multímetro Digital 15b+ da marca Fluke;
- Alicates Amperímetro ET-3200 da marca Minipa;
- 6 metros de condutores de cobre, com isolamento PVC, flexíveis, de diâmetro 2,5 mm;
- Conectores de alavanca da Wago;
- 1 plugue de tomada de 3 pinos;
- 2 tomadas de 2 pinos;
- Liquidificador de 550 W;
- Liquidificador de 600 W;
- Furadeira de 450 W;
- DR de 30 mA, 25 A.

O procedimento pode ser resumido nos seguintes passos:

- 1º - Conectou-se o plugue 1 na tomada da casa;
- 2º - Conectou-se o plugue 2 na tomada 1;
- 3º - Conectou-se o alicate amperímetro no condutor neutro;
- 4º - Mediu-se a corrente de pico, a corrente nominal e a tensão para as velocidades do liquidificador de 600 W;

- 5° - Retirou-se a plugue 2 da tomada 1 e a conectou na tomada 2 com o aparelho na velocidade 0 (desligado);
- 6° - Retirou-se o alicate amperímetro do condutor neutro e o conectou no condutor terra que já estava amarrado em segurança na armadura;
- 7° - Mediu-se a corrente de pico, corrente nominal e a tensão para as velocidades do liquidificador de 600 W;
- 8° - Desconectou-se o plugue 1, retirou-se o condutor de aterramento de armadura e colocou sua parte condutiva em contato com a parede (8.1) e logo após em contato com um prego na parede (8.2);
- 9° - Conectou-se o plugue 1 na tomada da casa e verificou-se a atuação do liquidificador;
- 10° - Desconectou-se plugue 1, conectou-se novamente o condutor de aterramento na armadura do pilar;
- 11° - Colocou-se o DR na fase e no neutro logo após o plugue 1;
- 12° - Repetiu-se os procedimentos 2,3 e 4 (12.1); e em seguida os procedimentos 5,6 e 7 (12.2) verificando a atuação ou não do dispositivo diferencial residual.

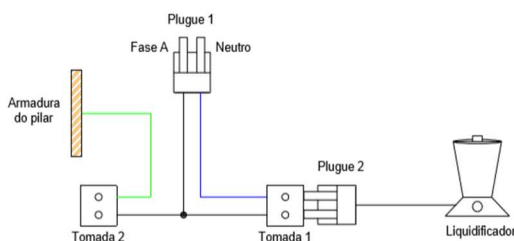


Figura 5.13 - Procedimento 4

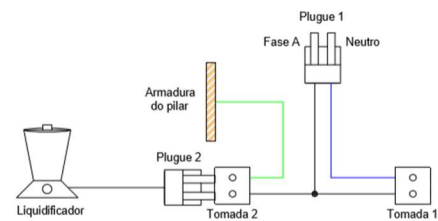


Figura 5.14 - Procedimento 5

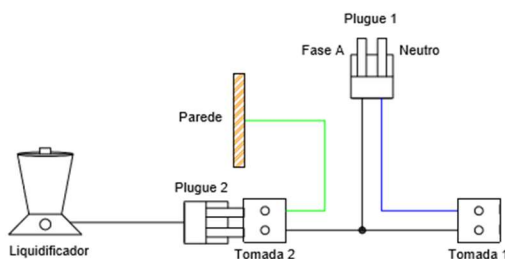


Figura 5.15 - Procedimento 8.1

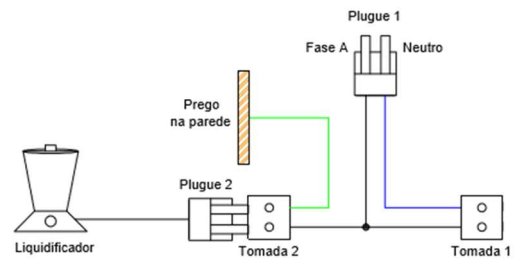


Figura 5.16 - Procedimento 8.2

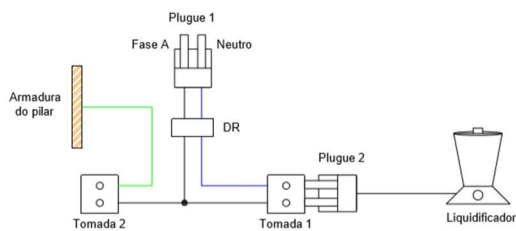


Figura 5.17 - Procedimento 12.1

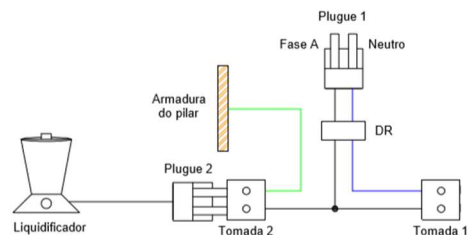


Figura 5.18 - Procedimento 12.2

Casa 1 - Equipamento: Liquidificador de 600 W				
	Tensão medida (V)	Corrente de pico (A)	Corrente na velocidade 1 (A)	Corrente na velocidade 2 (A)
Fase-Neutro	221,1	3,4	0,61	0,9
Fase-Armadura	221.1	3,29	0,63	1,03
Aparelho conectado à:	Fase-Neutro	Fase-armadura	Fase-parede	Fase-prego
DR desarmou?	Sim	Sim	Não	Não
Equipamento funcionou?	Sim	Sim	Não	Não

Figura 5.19: Dados obtidos na casa 1

Os dados obtidos são bastante curiosos: a corrente medida na situação fase-armadura foi ainda maior que a corrente medida na situação fase-neutro. O que pode demonstrar precariedade dos parâmetros do neutro, com significativa queda de potencial, causada por problema de conexão ao longo de sua extensão, ou até mesmo em problemas de resistência no próprio condutor.

5.5. Procedimentos e dados recolhidos na casa 2

A casa 2 apresenta várias tomadas de novo padrão, sem conexão com o aterramento. Os testes foram realizados em uma armadura exposta de um pilar na área externa da casa. Mesmo com a armadura apresentando sinais de oxidação, os resultados foram satisfatórios.

Casa 2- Equipamento: Liquidificador de 550 W				
	Tensão medida (V)	Corrente de pico (A)	Corrente na velocidade 1 (A)	Corrente na velocidade 2 (A)
Fase-Neutro	233,6	4,61	0,43	0,8
Fase-Armadura	233,6	3,9	0,43	0,63
Aparelho conectado à:	Fase-Neutro	Fase-armadura	Fase-parede	Fase-prego
DR desarmou?	Sim	Sim	Não	Não
Equipamento funcionou?	Sim	Sim	Não	Não

Figura 5.20: Dados obtidos na casa 2

A oxidação diminuiu a qualidade do eletrodo, porém os dados demonstram que ainda pode ser considerado um bom aterramento, principalmente pela verificação de funcionamento normal e adequado do liquidificador.

6. CONCLUSÕES

Esse trabalho conclui que o melhor esquema de aterramento a ser utilizado na residência é o TNCS contanto que seja providenciado um eletrodo de aterramento adicional na casa, diferente do eletrodo de aterramento do neutro realizado no medidor. Este eletrodo adicional pode ser a armadura do pilar, desde que verificada a qualidade da sua resistência, como foi realizado neste trabalho. O esquema TNCS permite a atuação de dois dispositivos de proteção (DR e Disjuntor) enquanto o esquema TT, muito comum, apenas permite a utilização do DR.

Ao longo do trabalho, recorreu-se aos conhecimentos da Engenharia Civil com o intuito de entender tipos de estruturas de construção. Há casas construídas de alvenaria estrutural, que não possuem armadura e, portanto, inviabiliza o tipo de conexão proposto nesse trabalho. Algumas casas podem não possuir armadura na sua fundação, mas podem possuir nos pilares, o que também pode não garantir uma boa condutividade pelo pilar por falta de conexão efetiva com o solo.

Neste trabalho não foram analisados aspectos construtivos de pilares e aspectos bioquímicos do solo para garantir uma boa condução do aterramento. Mostrou-se, no entanto, que com um método relativamente simples é possível a verificação da qualidade do aterramento, atendendo orientações da própria norma NBR 5410:2004.

Diversas casas ainda não se adequaram ao sistema de aterramento e não tem um perfil econômico favorável para contratar soluções mais precisas, sendo a solução apresentada no trabalho suficientemente confiável para eliminar problemas de choques no ambiente doméstico, sem a necessidade da compra de hastes de cobre para implementação do aterramento.

A análise experimental mostrou que o sistema proposto é seguro, uma vez que os valores de corrente e tensão para situações de conexão do aparelho em fase-neutro e fase-terra utilizando a armadura do pilar, foram aproximadamente iguais. Porém, o estudo carece de um número maior de testes para retirar uma conclusão mais precisa sobre a qualidade do aterramento proposto.

O bom aterramento garante boa condução entre carcaça e terra ou entre carcaça e neutro, de forma que ao ocorrer uma falta de fase-terra faça atuar os dispositivos de proteção (DR e Disjuntor a depender do esquema de aterramento).

Ou seja, o aterramento não é suficiente por si só, ele carece do dimensionamento dos dispositivos DR e Disjuntor para que estes atuem protegendo contra choque. E ainda, estes dispositivos também não oferecem proteção adequada contra choques sem a existência do aterramento. Logo, os dois – infraestrutura de aterramento de proteção e dispositivos de seccionamento - se complementam para suprir a proteção contra choques.

Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, propõe-se estudar a mesma efetividade do aterramento via armadura do pilar para aqueles que nascem em pavimentos superiores da edificação e que, portanto, não tem conexão direta com a armadura da fundação. Além disso, realizar experimentos para verificar a atuação do disjuntor no caso de falta fase-terra no esquema TT com conexão de aterramento na armadura do pilar, verificando a qualidade que o eletrodo constituído por elas representa.

Finalmente, propõe-se realizar medições da resistência de aterramento das armaduras dos pilares utilizando terrômetros, adquirindo resultados mais precisos e acurados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Estruturas de Concreto Armado - Manual. 1ª ed. São Paulo: ABCP, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 5410**: Instalações Elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004

_____. **NBR 14136**: Plugues e Tomadas para uso doméstico e análogo até 20 a/250 v em corrente alternada – padronização. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 7480**: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 1996.

ALMEIDA, W. G. ; Freitas, F. D. . Circuitos Polifásicos. 1ª ed. Brasília: Finatec-Fundação de empreendimentos científicos e tecnológicos, 1995. 254p v.

BARROS, Mercia. Bacharelado em Engenharia Civil. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996. 32 f. Apostila.

BRANDENBURSKY, A. Farber, V. Korj, and A. Braunshtein. “Ground resistance calculation for small concrete foundations,” *Electric Power Systems Research*, vol. 81, no. 2, pp. 408–413, Feb. 2011.

CABOS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO. Cobrecom Fios e Cabos Elétricos, 2014

COTRIM, Ademaro. Instalações Elétricas. 5ª ed. Rio de Janeiro : LTC,2009

DALZIEL, Charles Francis. The Effects of Electric Shock on Man. Washington, D.C: U.S. Atomic Energy Commission, Office of Health and Safety, 1956. Series: Safety and fire protection technical bulletin; no. 7.

FLORES, A. J. M. Análise e aplicação de métodos para o cálculo da resistência de terra em sistemas com N elétrodos instalados em solos heterogêneos. Universidade do Porto. Porto, p. 98. 2014.

GONÇALVES, Heloisa H. S.; MARINHO, Fernando A. M.; FUTAI, Marcos M. Mecânica dos solos e fundações: Notas de aula revisadas. **Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2014. 143 f.

INTERNATIONAL STANDARD. IEC 60479-1: Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General Aspects. 2018

INTERNATIONAL STANDARD. IEC 61140: Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment. 2016

IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, in *IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015)* , vol., no., pp.1-226, 15 May 2015
doi: 10.1109/IEEESTD.2015.7109078

IRWIN, J. David. Análise básica de circuitos para engenharia; 9ª edição. Tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva – Rio de Janeiro : LTC,2010

PROTECTION against electric shock. Electrical instalation guide. Schneider Electric, 2018.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. Aterramento Elétrico. 3ª Edição, Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto.

MAMEDE Filho, João . Instalações Elétricas industriais – 8ª ed. – Rio de Janeiro:LTC,2010

QUADROS de distribuição - tomadas. Guia EM da NBR5410. Revista Eletricidade Moderna

Pesquisas na internet:

vivaceinstruments (in <http://www.vivaceinstruments.com.br/pt/artigo/integridade-sinais-profibus>)

eletrodomésticos (in <http://www.eletrodomesticos.blog.br/nocoes-basicas-sobre-aterramento>)

usinenuvelle (in <https://www.usinenuvelle.com/expo/colliers-de-serrage-de-mise-a-la-terre-p58503193.html>)

bloguetronica (in <http://www.bloguetronica.com/2012/06/classes-de-isolamento-em-equipamentos.html>)

blogpraconstuir (in <http://blogpraconstuir.com.br/etapas-da-construcao/tipos-de-fundacoes/>)

pormenoresconstrutivos (in <http://pormenoresconstrutivos.cype.pt/CSZ001.html>)

generadordeprecios (in http://carm.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones/Electricas/Puesta_a_tierra/Red_de_toma_de_tierra_para_estructura.html)