

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA CAMPUS ITAJAÍ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ CELSO VICENTE DO NASCIMENTO

**UM ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE CHUVEIROS, ATERRAMENTOS E
CHOQUE ELÉTRICO**

ITAJAÍ
2026

José Celso Vicente do Nascimento

Um estudo experimental sobre chuveiros, aterramentos e choque elétrico

Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de bacharel em engenharia elétrica.

Área de concentração: circuitos elétricos, magnéticos e eletrônicos

Orientador: Saimon Miranda Fagundes

ITAJAÍ

2026

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor, através do cadastro de ficha de identificação disponível no portal discente do Sistema Integrado de Gestão Acadêmica - SIGAA, do IFSC.

Nascimento, Jose Celso Vicente do

Um estudo experimental sobre chuveiros, aterramentos e choque elétrico / José Celso Vicente do Nascimento ; orientador(a): Saimon Miranda Fagundes. -- Itajaí : 2026.

93 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Itajaí, 2026.

Inclui referências.

1. Chuveiro elétrico. 2. Aterramento elétrico. 3. Interruptor de Dispositivo diferencial residual. 4. Segurança elétrica. 5. Tensão fantasma. I. Fagundes, Saimon Miranda. II. Instituto Federal de Santa Catarina, Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica. III. Título.

José Celso Vicente do Nascimento

Um estudo experimental sobre chuveiros, aterramentos e choque elétrico

Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de bacharel em engenharia elétrica.

Itajaí, 06 de julho de 2026



Documento assinado digitalmente

SAIMON MIRANDA FAGUNDES

Data: 13/07/2026 13:51:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Saimon Miranda Fagundes

Instituto Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

PAULO CESAR DA SILVA

Data: 13/07/2026 17:28:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Paulo Cesar da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

ADILSON PACHECO BORTOLUZZI

Data: 13/07/2026 16:07:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

M.e Adilson Pacheco Bortoluzzi

Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me sustentado durante todos esses anos de curso, por ter me guardado na pandemia e me dado toda a força necessária para superar cada dificuldade até chegar aqui.

Agradeço aos meus pais, que desde a minha aprovação para ingressar no curso de Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), me incentivaram e me deram todo o suporte necessário.

Aos colegas de classe que se tornaram amigos para a vida, sem os quais também não teria sido possível chegar até aqui. Cada um deles foi peça fundamental na minha formação.

Agradeço aos professores que compartilharam todo o seu conhecimento. Muitos deles foram marcantes em meu processo de formação, como meu orientador, Prof. Saimon Miranda, por compartilhar comigo este tema de trabalho de conclusão de curso; a Prof.^a Fernanda Argoud, que me trouxe muita sensatez e lucidez durante a formação; o Prof. Anaximandro, com sua atenção e empenho em ser o mais didático possível; e o Prof. Marcelo Coutinho, que me mostrou como devo ser perseverante ao buscar o conhecimento e vencer barreiras.

Agradeço também a todos os funcionários do IFSC que fazem deste curso o que ele é: de qualidade e de excelência.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um estudo experimental comparativo sobre o comportamento de chuveiros elétricos em três condições distintas de aterramento: aterramento TT, ausência total de aterramento e uso do neutro como aterramento (e sua simulação de rompimento). O objetivo central é analisar as consequências elétricas de cada cenário, considerando a tensão 220 volts, fenômenos de tensão fantasma, riscos de fuga de corrente e o desempenho do interruptor diferencial residual (IDR). Foram realizadas medições práticas entre registro e condutores do circuito, com o chuveiro em funcionamento nas condições de registro aberto, com IDR, utilizando lâmpada como carga de teste para verificação de tensão com possibilidade fuga de corrente ou tensão fantasma. No cenário sem aterramento, observou-se elevada presença de tensões fantasmas resultantes de acoplamentos capacitivos internos, além de fuga de correntes correlacionados a ausência de aterramento. O sistema neutro como aterramento cria uma falsa sensação de segurança, pois qualquer falha ou rompimento no neutro pode energizar partes metálicas expostas (como o próprio registro do chuveiro), ampliando significativamente os riscos ao usuário. Por outro lado, o aterramento TT adequadamente executado eliminou tensões fantasmas perceptíveis, reduziu praticamente a zero as correntes de fuga observadas e se mostrou o único cenário capaz de garantir caminhos seguros para correntes de falha, especialmente quando associado ao IDR. A análise também demonstrou que, apesar de essencial, o IDR não impede totalmente choques de pequena intensidade, menores de 30mA.

Palavras-chave: Chuveiro elétrico; Aterramento elétrico; Interruptor de Dispositivo diferencial residual; Segurança elétrica; Tensão fantasma.

ABSTRACT

This Final Course Project presents a comparative experimental study on the behavior of electric showers under three distinct grounding conditions: TT grounding, complete absence of grounding, and the use of the neutral conductor as grounding (including its simulated interruption). The main objective is to analyze the electrical consequences of each scenario, considering a 220-volt supply, phantom voltage phenomena, current leakage risks, and the performance of the residual current device (RCD). Practical measurements were carried out between the faucet valve and the circuit conductors, with the shower operating under open-valve conditions and protected by an RCD, using an incandescent lamp as a test load to verify the presence of voltage associated with either current leakage or phantom voltage. In the ungrounded scenario, a significant presence of phantom voltages resulting from internal capacitive coupling was observed, as well as leakage currents correlated with the absence of grounding. The use of the neutral conductor as grounding creates a false sense of safety, since any failure or interruption of the neutral conductor may energize exposed metallic parts (such as the shower faucet valve itself), significantly increasing the risks to the user. On the other hand, a properly implemented TT grounding system eliminated perceptible phantom voltages, reduced the observed leakage currents to virtually zero, and proved to be the only scenario capable of providing safe paths for fault currents, especially when associated with an RCD. The analysis also demonstrated that, although essential, the RCD does not completely prevent low-intensity electric shocks below 30 mA.

Keywords: Electric shower; Electrical grounding; TT grounding system; Residual current device (RCD); Electrical safety; Ghost voltage.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Choque de contato direto e contato indireto.	21
Imagem 2 – Representação potencial de toque.	21
Imagem 3 – Tensão de passo.	22
Imagem 4 – Tensão de passo circuito.	22
Imagem 5 – Circuito elétrico do coração.	23
Imagem 6 – Representação da fibrilação ventricular.	24
Imagem 7 – Reação do corpo humano à intensidade da corrente elétrica em miliampère (CA 50/60 Hz).	24
Imagem 8 – Tempo (<i>ms</i>) x corrente elétrica (<i>mA</i>).	25
Imagem 9 – Sistema TN-S.	27
Imagem 10 – Sistema TN-C.	27
Imagem 11 – Sistema TN-C-S.	28
Imagem 12 – Sistema TT.	29
Imagem 13 – Representação entrada trifásico kit postinho.	31
Imagem 14 – Chuveiro elétrico.	32
Imagem 15 – Funcionamento do chuveiro elétrico.	33
Imagem 16 – Resistência dividida em duas partes.	33
Imagem 17 – Dinâmica de funcionamento interno chuveiro elétrico.	34
Imagem 18 – Tipos de resistência nos chuveiros.	35
Imagem 19 – Chuveiro eletrônico.	36
Imagem 20 – Simbologia e componente DIAC.	36
Imagem 21 – Simbologia e componente TRIAC.	36
Imagem 22 – Circuito chuveiro elétrico.	37
Imagem 23 – Forma de onda atuação TRIAC.	38
Imagem 24 – Dinâmica de funcionamento interno chuveiro eletrônico	39
Imagem 25 – Representação choque indireto ao tocar registro.	40
Imagem 26 – Resistência de níquel-cromo deteriorada e rompida.	41
Imagem 27 – Seletor de temperatura.	42
Imagem 28 – Chuveiro neutro e terra.	44
Imagem 29 – Sem condutor terra na instalação.	45
Imagem 30 – Circuito tensão fantasma.	46
Imagem 31 – Materiais utilizados.	48
Imagem 32 – Chuveiro Lorenzetti Loren Shower e sua especificação.	50

Imagem 33 – Construção interna chuveiro Lorenzetti Loren Shower.....	50
Imagem 34 – Identificação de tensão fantasma com lâmpada em paralelo	53
Imagem 35 – Instalação chuveiro com <i>Tchuveiro</i> flutuante.....	56
Imagem 36 – Instalação chuveiro terra + neutro.	56
Imagem 37 - Rompimento do cabo PEN.....	57
Imagem 38 - Instalação chuveiro aterramento TT.....	57
Imagem 39 – Kit postinho para três medidores.	61
Imagem 40 – Aterramento concessionária.....	62
Imagem 41 – Barramento casa 3.	62
Imagem 42 – Dutos de entrada de energia	63
Imagem 43 – Condutores de aterramento unidos à haste separado do neutro	63
Imagem 44 – Quadro de distribuição de circuitos	64
Imagem 45 – <i>Tchuveiro</i> $\leftrightarrow$ <i>Tinstalação</i>	65
Imagem 46 – <i>Tchuveiro</i> $\leftrightarrow$ <i>N</i>	66
Imagem 47 – <i>Tchuveiro</i> $\leftrightarrow$ <i>Rf</i>	66
Imagem 48 – <i>Tchuveiro</i> $\leftrightarrow$ <i>Rt</i>	67
Imagem 49 – <i>Tchuveiro</i> + <i>N</i> $\leftrightarrow$ <i>Tinstalação</i>	69
Imagem 50 – <i>Tinstalação</i> $\leftrightarrow$ <i>Rf</i>	70
Imagem 51 – <i>Tinstalação</i> $\leftrightarrow$ <i>Rt</i>	70
Imagem 52 – Cenário 2 (parte 2) PEN rompido $\leftrightarrow$ <i>Rf</i> e <i>Rt</i> sem carga.	72
Imagem 53 – PEN rompido (parte 2) $\leftrightarrow$ <i>Rf</i> e <i>Rt</i> com carga de 15W e 40W respectivamente.	73
Imagem 54 – <i>T</i> $\leftrightarrow$ <i>N</i>	75
Imagem 55 – <i>T</i> $\leftrightarrow$ <i>F</i>	76
Imagem 56 – <i>T</i> $\leftrightarrow$ <i>Rf</i>	76
Imagem 57 – <i>T</i> $\leftrightarrow$ <i>R</i>	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência corporal.	22
Tabela 2 – Medições cenário 1 → $T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}, N, R_f, R_t$	67
Tabela 3 – Medições cenário 2.	71
Tabela 4 – Cenário 2 (parte 2) → Medição rompimento cabo PEN.	73
Tabela 5 – Medições cenário 3 → Aterramento TT NBR5410	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição kit poste CELESC.....	31
Quadro 2 – Comparação técnica tensão fantasma x tensão para fuga de corrente..	47
Quadro 3 – Cenários.	52
Quadro 4 – Parâmetros de classificação para interpretação de grandezas elétricas e riscos associados.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDR	Interruptor Diferencial Residual
ABRACOPEL	Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NAV	Nódulo Átrio Ventricular
NSA	Nódulo Sino Atrial
CA	Corrente Alternada
IEC/TS	International Electrotechnical Commission Technical (Comissão Técnica Internacional Eletrotécnica)
AC	<i>Alternating Current</i> (corrente alternada)
PEN	<i>Protective Earth and neutral</i> (condutor de proteção e neutro)
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A
N-321.0001	Norma de Fornecimento de energia em Baixa Tensão de Distribuição
SEP	Sistema Elétrico de Potência
PE	<i>Protective Earth</i> (condutor de proteção)
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
DR	Dispositivo Diferencial Residual
PP	Polipropileno
ABS	Acrilonitrila Butadieno
DIAC	<i>Diode for Alternating Current</i> (Diodo para Corrente Alternada)
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i> (Triodo para Corrente Alternada)
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i> (Retificador controlado de Silício)
RC	Resistor e Capacitor
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i> (Triodo para Corrente Alternada)
LoZ	Low Z (baixa impedância)
HighZ	High Z (alta impedância)

LISTA DE SÍMBOLOS

Na^+	Sódio
k^+	Potássio
mA	Milliampère
ms	Millissegundo
A	Ampère
N	Neutro
V_c	Tensão de contato
V_{toque}	Tensão de toque
V_{passo}	Tensão de passo
R_{ch}	Resistência do corpo humano
R_c	Resistência de contato
$M\Omega$	Megaohms
$k\Omega$	Kilo ohms
I_{choque}	Corrente de choque pelo corpo humano
R	Resistência elétrica
P	Potência elétrica
W	Watts
V	Tensão
V_{ef}	Tensão eficaz
π	Constante matemática aproximadamente 3,1416
I	Corrente
C_1, C_2	Condutores
V_m	Tensão induzida
μA	Micro Ampère
F	Fase
N	Neutro
N_c	Neutro chuveiro
R_f	Parte frontal do registro
R_t	Parte traseira do registro
$T_{instalação}$	Condutor de proteção da instalação
$T_{chuveiro}$	Condutor de proteção do chuveiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.2 Objetivo geral	17
1.1.3 Objetivos específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 CHOQUE ELÉTRICO	20
2.2 OS TIPOS DE ATERRAMENTO SEGUNDO A NBR5410.....	25
2.2.1 Sistema TN-S	26
2.2.2 Sistema TN-C	27
2.2.3 Sistema TN-C-S	28
2.2.4 Sistema TT	29
2.3 FORNECIMENTO DE ENERGIA E ATERRAMENTO SEGUNDO A CELESC	29
2.3.1 A concessionária e a normalização	29
2.3.2 O sistema de medição e a natureza do aterramento funcional	30
2.3.3 Diferenciação dos esquemas de aterramento e proteção	31
2.4 CHUVEIRO ELÉTRICO	32
2.5.1 Choque elétrico em chuveiros	39
2.5.1.2 Choque elétrico por contato indireto.....	39
2.5.2 Causas que levam ao choque por contato indireto.....	40
2.5.2.1 Choque elétrico devido a resistência danificada	40
2.5.2.2 Choque elétrico devido a falhas estruturais.....	42
2.5.2.3 Choque elétrico devido a instalação inadequada segundo a norma NBR5410	43
2.5.2.4 Choque elétrico devido a instalação sem o condutor terra.....	44
2.5.3 Choque elétrico e a tensão fantasma	45
3 METODOLOGIA	48
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO (EXPERIMENTO)	48
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS	48
3.2.1 Especificações técnicas do chuveiro utilizado	49
3.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	50
3.3.1 Identificação do tipo de aterramento.....	50
3.3.2 Apresentação das etapas do experimento no chuveiro elétrico	51
3.3.3 Pontos de medição chuveiro elétrico	53
3.3.4 Para a medição	54
3.3.4.1 Caracterização de alta vs baixa impedância	54
3.3.4.2 Configuração e montagem dos cenários	55
3.3.4.3 Quadro de referências.....	57
3.4 PARES DE MEDIÇÃO – CENÁRIOS	58
3.4.1 Cenário 1: sem condutor terra	58
3.4.2 Cenário 2 (parte 1): terra(chuveiro) + neutro (tn-c)	59
3.4.2.1 Cenário 2 (parte 2): Cabo PEN rompido.....	59
3.4.3 Cenário 3: aterramento TT (NBR 5410).....	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO ATERRAMENTO.....	61
4.2 CENÁRIO 1 SEM ATERRAMENTO.....	64
4.2.1 Medição e análise dos resultados do cenário 1	65
4.3 CENÁRIO 2 ATERRAMENTO TERRA(CHUVEIRO)+NEUTRO	69
4.3.1 Medição e análise dos resultados do cenário 2 (parte 1): condutor de proteção do chuveiro conectado ao neutro da instalação	69
4.3.2 Medição e análise dos resultados do cenário 2 (parte 2): rompimento condutor pen	72
4.4 CENÁRIO 3 ATERRAMENTO TT	75
4.4.1 Medição e análise dos resultados – cenário 3: sistema de aterramento tt conforme a NBR 5410	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
5.1 TRABALHOS FUTUROS.....	82
REFERÊNCIAS.....	83

1 INTRODUÇÃO

No contexto residencial, o chuveiro elétrico se destaca como um dos equipamentos de maior potência e de uso diário. Por estar em contato direto com a água, qualquer falha no isolamento interno ou deficiência no aterramento pode gerar tensões de contato perigosas. O Guia de Instalações Elétricas da Procobre (2020) enfatiza que o aterramento correto do chuveiro é indispensável, sendo proibida a ligação do fio de proteção (terra) ao condutor neutro do circuito, prática ainda comum em diversas residências brasileiras.

A junção equivocada entre o condutor neutro e o condutor de proteção (terra) é um ato comum em instalações antigas ou executadas sem o devido rigor técnico. Embora essa configuração possa aparentar normalidade funcional, ela esconde graves riscos à segurança pessoal. Conforme detalhado no Manual de Instalações Elétricas Residenciais (*Prysmian Group*, 2013), a interrupção do condutor neutro em circuitos onde há essa ligação indevida faz com que a corrente de retorno percorra a carcaça metálica dos equipamentos. Isso resulta na energização das massas, expondo o usuário a potenciais elétricos perigosos e ao risco iminente de choque elétrico. Além do risco de choque elétrico, esse tipo de ligação inadequada compromete o funcionamento do sistema de proteção diferencial, como os disjuntores termomagnéticos e os interruptores residuais diferenciais (IDR), podendo impedir o desligamento automático do circuito em situações de falha.

Segundo dados do Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (ABRACOPEL, 2024), as residências são palco de aproximadamente 30% das mortes por choque elétrico no Brasil. Nesse cenário doméstico, o chuveiro elétrico Imagem como um componente de alto risco, ainda mais quando instalado sem o aterramento adequado, o que aumenta a gravidade dos acidentes em ambientes úmidos. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo experimental comparativo entre o aterramento TT, a falta de aterramento e o uso do neutro como aterramento em chuveiros elétricos, analisando os dados elétricos fornecidos em seu experimento e ressaltando a importância da conformidade com as normas técnicas vigentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo geral

Analisar as implicações técnicas e de segurança resultantes da inadequação do esquema de aterramento em chuveiros elétricos residenciais, analisando o método de aterramento TT, a falta de aterramento na instalação, e a utilização incorreta do condutor neutro (N) como aterramento (PE), de acordo com a norma ABNT NBR 5410.

1.1.3 Objetivos específicos

- Apresentar os princípios do choque elétrico necessários para compreender o funcionamento e os riscos do chuveiro elétrico.
- Descrever e comparar os tipos de aterramento residenciais e o cenário específico onde o condutor terra do chuveiro é ligado diretamente ao neutro, avaliando suas implicações de segurança.
- Analisar possibilidades de falha do chuveiro elétrico, curto, fuga, contato com a água, e a influência da tensão fantasma nas sensações de choque.
- Realizar experimentos práticos em três cenários reais de instalação (sem aterramento, terra do chuveiro ligado ao neutro (simulando também o rompimento do neutro) e aterramento TT, medindo tensão, corrente nominal e tensão de contato.
- Avaliar o comportamento e a atuação do IDR no cenário experimental, identificando sua eficácia na interrupção de correntes de fuga e situações de risco.
- Comparar os resultados dos três cenários, identificando o nível de risco de cada configuração e propondo recomendações técnicas para aumentar a segurança em instalações com chuveiros elétricos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A eletricidade é indispensável na vida moderna, mas seu uso inadequado pode representar sérios riscos à segurança, principalmente o choque elétrico, que pode

causar desde desconforto a lesões graves ou até fatais. Entre os ambientes residenciais de maior vulnerabilidade está o banheiro, onde o uso do chuveiro elétrico combina dois elementos potencialmente perigosos: água e eletricidade. Diante disso, surge o questionamento sobre por que, em condições normais, o usuário não sofre choque elétrico durante o banho, mesmo com o chuveiro ligado à rede elétrica, e por que, em determinadas situações, como ao tocar o registro metálico, o choque ocorre.

Este trabalho tem como objetivo investigar o fenômeno, os tipos de aterramento, especialmente a falta de aterramento e o uso do neutro como condutor de aterramento, analisando os circuitos envolvidos e suas implicações na segurança do usuário. Busca-se compreender a influência dos tipos de sistemas de aterramento, sem aterramento, aterramento ligado ao neutro (também em situação de rompimento do condutor PEN) e aterramento conforme as normas técnicas, no caso o aterramento TT, na ocorrência e intensidade dos choques elétricos. Segundo Creder (2016), o aterramento é fundamental para o bom funcionamento das instalações elétricas e para a proteção das pessoas contra choques, devendo sempre ser feito de forma independente do neutro, conforme estabelecido pela NBR 5410 (ABNT, 2004).

A relevância deste estudo está na necessidade de garantir a segurança das instalações elétricas residenciais, especialmente em ambientes úmidos como banheiros, onde o risco de choque elétrico é significativamente maior. De acordo com Creder (2016), falhas em sistemas de proteção e erros de instalação estão entre as principais causas de acidentes envolvendo eletricidade em residências. A NBR 5410 (ABNT, 2004) estabelece que o aterramento adequado e a correta aplicação das medidas de proteção contra choques elétricos são requisitos fundamentais para a segurança dos usuários. A norma ressalta que ambientes úmidos demandam cuidados ainda mais rigorosos, devido ao aumento dos riscos associados ao contato elétrico. Além disso, proíbe a utilização do condutor neutro como condutor de proteção após o quadro de distribuição, uma prática que pode comprometer a segurança da instalação e contribuir para a ocorrência de acidentes domésticos. De forma a compreender o comportamento elétrico do chuveiro e comparar diferentes métodos de aterramento torna-se essencial para promover instalações seguras e conformes às normas. Assim, este trabalho propõe uma análise teórica e experimental do aterramento de chuveiros elétricos, contribuindo para a conscientização, aprimoramento das práticas de instalação e reforço da importância do cumprimento das normas técnicas.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, descritos a seguir:

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, sobre o choque elétrico, os tipos de aterramento utilizados em instalações residenciais, os dispositivos de proteção disponíveis e o princípio de funcionamento do chuveiro elétrico.

O capítulo 3 tem como objetivo estudar a metodologia dos mecanismos que podem levar ao choque elétrico em chuveiros, e desenvolver cenários e circuitos que simulam diferentes condições de instalação, incluindo tanto a falta de aterramento, o aterramento (TT) quanto a ligação inadequada do neutro ao condutor de proteção. Além disso, busca-se aplicar uma metodologia experimental baseada nos circuitos elaborados, realizando testes que permitam comparar o comportamento elétrico das três configurações e identificar os riscos associados a cada uma delas.

O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos a partir dos dados coletados durante os ensaios.

O Capítulo 5 encerra o trabalho com as conclusões e considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

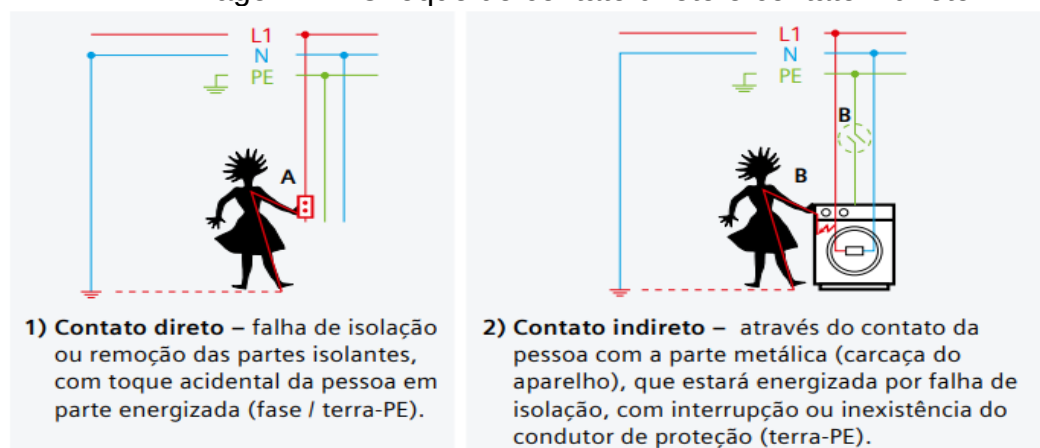
Este estudo explora a necessidade de entender melhor sobre o choque elétrico, tipos de aterramento, funcionamento do chuveiro e, principalmente, quando o aterramento é usado de forma inadequada, quando se conecta o neutro junto ao conector terra em chuveiros elétricos residenciais.

2.1 CHOQUE ELÉTRICO

O choque elétrico ocorre quando uma corrente atravessa o corpo humano devido à existência de uma diferença de potencial entre duas partes do corpo ou entre a pessoa e o solo. A intensidade dessa corrente depende da tensão aplicada, da resistência elétrica do corpo e do percurso percorrido, como destacam Halliday, Resnick e Walker (2023). De forma geral, os choques podem ser classificados em contato direto, quando se encosta em condutores energizados e contato indireto choques associados a potenciais perigosos no solo ou em superfícies metálicas, como tensão de contato ou toque (V_c) e a tensão de passo, conforme estabelece a NBR 5410 (ABNT, 2004).

No caso dos chuveiros elétricos, o tipo mais comum de choque é o contato indireto, que acontece quando uma parte metálica que não deveria estar energizada torna-se acidentalmente ativa devido a falhas no isolamento ou na resistência do aparelho. Assim, no caso de objeto de estudo, o usuário pode receber choque ao tocar o registro metálico, canos ou a própria carcaça do chuveiro, especialmente em instalações sem aterramento adequado ou sem o uso do dispositivo IDR (ABNT, 2004; Kindermann, 2011). Já o contato direto ocorre quando a pessoa toca partes vivas do aparelho, como fios ou terminais expostos, geralmente associado a mau estado de conservação ou manutenções inadequadas, como mostra a Imagem 1.

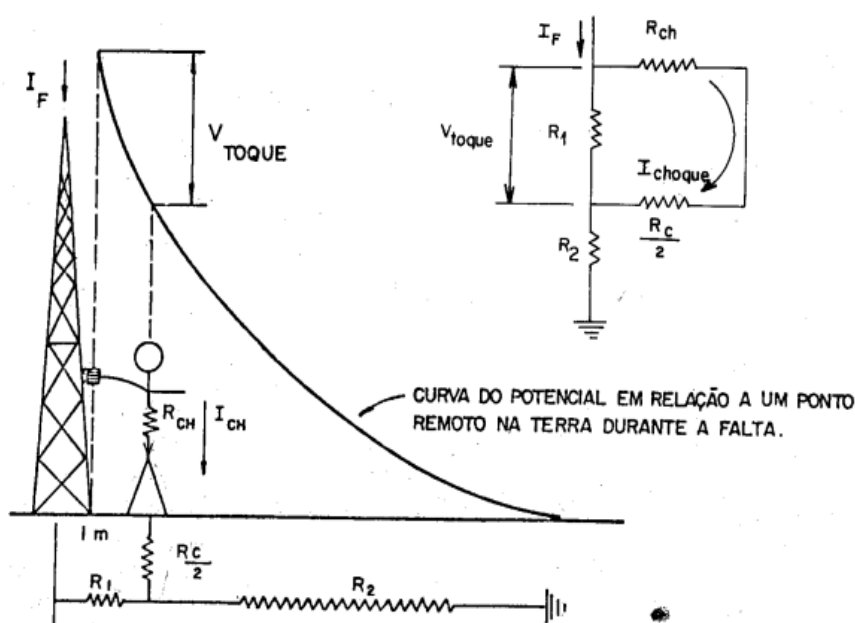
Imagem 1 – Choque de contato direto e contato indireto.



Fonte: Siemens (2017).

A tensão de contato indireto, Imagem 1, sendo melhor explicada, acontece quando o usuário encosta simultaneamente em dois pontos com potenciais diferentes, como um registro metálico sob fuga de corrente e o piso molhado do banheiro. Esse tipo de situação cria um caminho condutor através do corpo, podendo resultar em corrente perigosa, conforme descreve Halliday et al. (2023).

Imagem 2 – Representação potencial de toque.

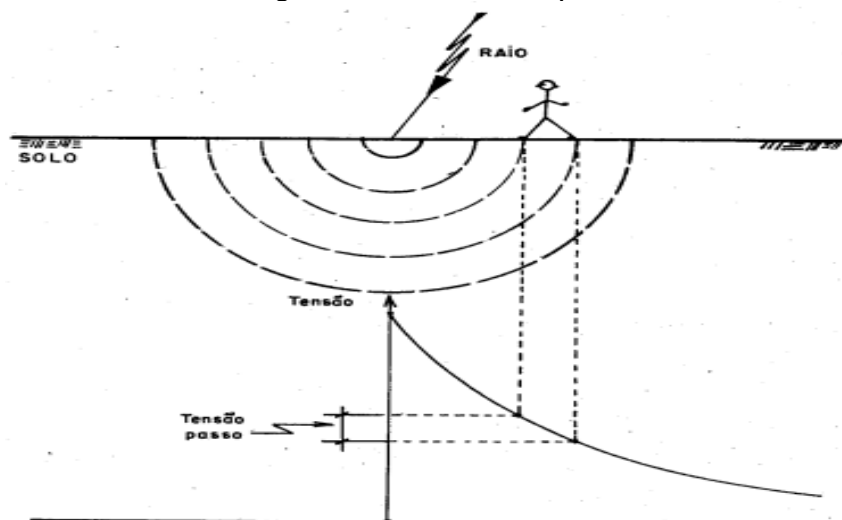


Fonte: Kindermann (1995, p.128).

Além do choque elétrico de contato direto e indireto, há a tensão de passo, Imagem 3, é a diferença de potencial entre dois pontos do solo separados pela distância de um passo. (Imagem 4). Embora mais comum em descargas atmosféricas e sistemas de aterramento externos, pode ocorrer em banheiros quando há fuga de

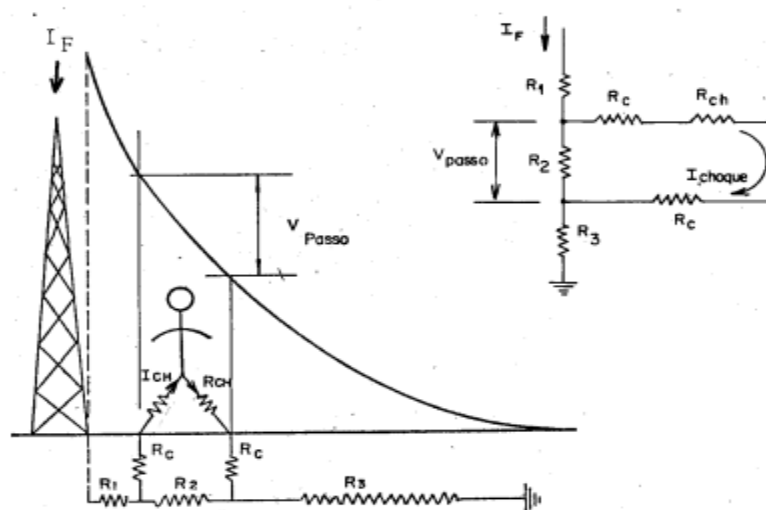
corrente e o piso molhado se torna um meio condutor, especialmente em instalações com aterramento deficiente ou ausente (ABNT, 2004).

Imagem 3 – Tensão de passo.



Fonte: Kindermann (1995, p.130).

Imagem 4 – Tensão de passo circuito.



Fonte: Kindermann (1995, p.131).

A intensidade da corrente vai depender da resistência corporal conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Resistência corporal.

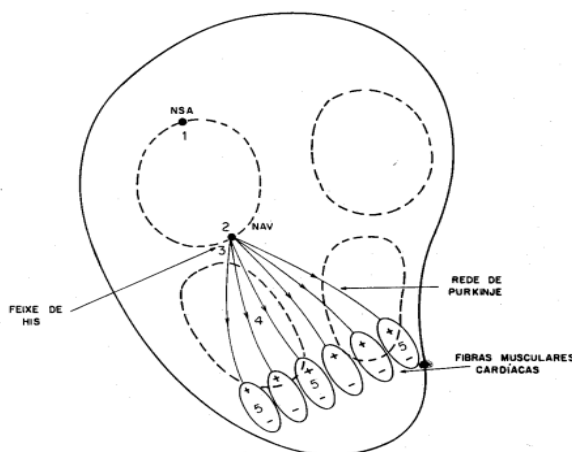
Característica	Valor em ohm(Ω) interna corporal
Pele seca	4000
Pele úmida	2000
Pele molhada	1000
Pele imersa na água	500

Fonte: Negrisoni (2022, p.15).

Assim, compreender os tipos de choque elétrico aplicados ao chuveiro é fundamental para que se identifiquem as situações de risco e se proponham medidas de proteção adequadas, como aterramento correto, utilização de IDR e manutenção preventiva. Esses conceitos servem de base para a análise prática desenvolvida neste trabalho, que busca demonstrar como o aterramento inadequado pode gerar condições propícias a acidentes.

No corpo humano existem diversos tipos de estímulos elétricos, desde espasmos comandados pelo cérebro, ou até mesmo, o movimento mecânico do coração, sendo este movimento a consequência do estímulo elétrico de forma rítmica do coração (SANTOS, 2023). A Imagem 5 mostra o circuito elétrico gerado por Nódulo Sino Atrial (NSA) e Nódulo Átrio Ventricular (NAV).

Imagem 5 – Circuito elétrico do coração.

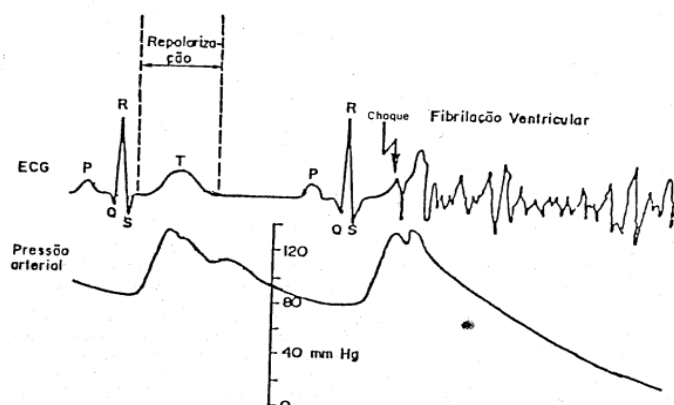


Fonte: Kindermann (1995, p.118).

O NSA é responsável por gerar os sinais elétricos, realizando processo químico dos íons de sódio (Na^+) e (K^+) potássio. Esse impulso faz o átrio se contrair e jogar o sangue para o ventrículo. Depois, o sinal elétrico segue pelo Feixe de His e pela rede de Purkinje, que distribuem o impulso para todo o ventrículo, fazendo ele se contrair. Quando isso acontece, o ventrículo direito manda o sangue para os pulmões e o esquerdo envia o sangue para o resto do corpo.

A fibrilação pulmonar acontece pois ao passar a corrente elétrica externa devido ao choque elétrico, a corrente passa pelo coração desestabilizando as fibras musculares, que passam a ficar despolarizadas. Representação do sinal de desfibrilação, Imagem 6, ao tomar o choque elétrico.

Imagem 6 – Representação da fibrilação ventricular.



Fonte: Kindermann (1995, p.120).

O ser humano ao tomar o choque elétrico pode sofrer diversas consequências dependendo da intensidade da corrente elétrica recebida e também do tempo de exposição. A corrente elétrica ao passar no corpo humano pode causar tetanização (contração muscular por consequência do choque), formigamento, parada respiratória, fibrilação muscular (Negrissoli, 2022). Como se pode verificar na Imagem 7:

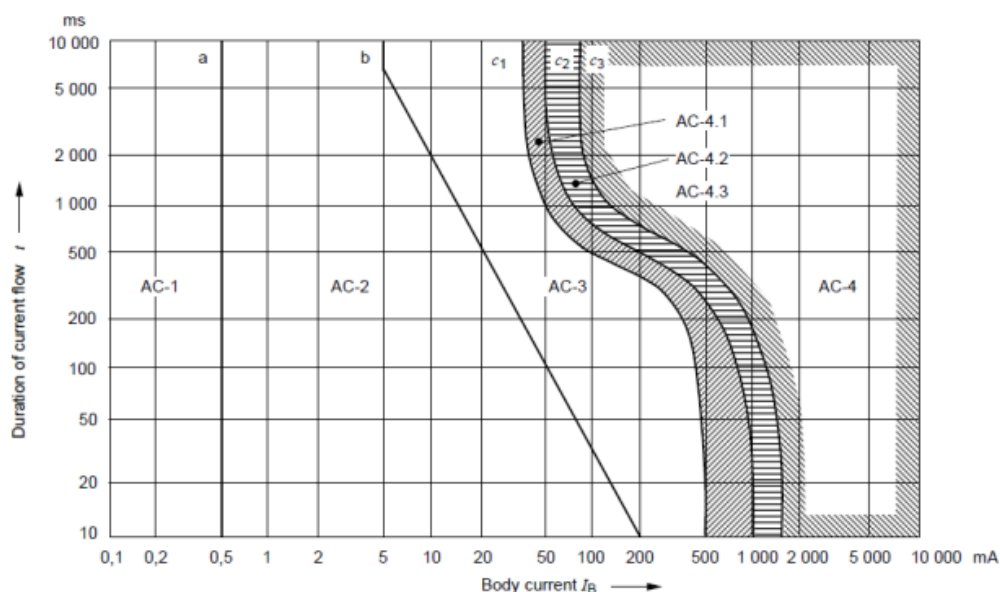
Imagem 7 – Reação do corpo humano à intensidade da corrente elétrica em miliampère (CA 50/60 Hz).

Grupos	Corrente (mA)		Reações fisiológicas habituais
I	Até 25	0,05	• Formigamento apenas perceptível na língua
		0,1	• Formigamento perceptível ao contato dos dedos
		1	• Limiar da sensibilidade
		1 a 10	• Sensação de insensibilidade na mão
		10 a 25	• Leve sensação de enrijecimento da mão e do antebraço
II	25 a 80		• Sensação de crisão da mão e do antebraço
			• Aumento da pressão arterial com o aumento da corrente
			• Sensação de crisão da mão e do antebraço
III	80 a 5.000		• Aumento da pressão arterial
			• Aumento da pressão arterial

Fonte: Negrissoli (2022).

O tempo de exposição ao choque entre mão e pé de acordo com a intensidade da corrente elétrica dividida em zonas de efeito da corrente alternada para frequências de 15 a 100 Hz, Imagem 8.

Imagem 8 – Tempo (ms) x corrente elétrica (mA).



Fonte: IEC/TS 60.479-1 (2005, p. 91)

Segundo Santos e Kreher (2018), baseando-se na IEC/TS 60.479-1:2005 e na literatura de Kindermann (2013), os efeitos da corrente de choque elétrico no organismo são divididos em quatro zonas principais:

Zona AC-1: A percepção é possível, mas geralmente não ocorre nenhuma reação física;

Zona AC-2: Ocorrem apenas contrações musculares, sem a presença de riscos ou danos fisiológicos;

Zona AC-3: Geralmente não produz dano orgânico, porém surgem contrações musculares fortes, dificuldades respiratórias e perturbações cardíacas reversíveis. Esta região é delimitada pelas curvas b e c_1 ;

Zona AC-4: Região situada além da curva c_1 , onde, somados aos problemas da Zona 3, há um aumento gradativo do risco de fibrilação ventricular.

2.2 OS TIPOS DE ATERRAMENTO SEGUNDO A NBR5410

De acordo com a NBR 5410 (ABNT, 2004), as instalações elétricas de baixa tensão podem empregar diferentes sistemas de aterramento, variando conforme as características da rede de distribuição e os requisitos de proteção. Nesta seção são apresentados os principais sistemas utilizados em edificações residenciais. Sendo o sistema TT descrito por último, pois será um dos objetos de estudo experimental deste trabalho, juntamente com circuito com a ausência do aterramento e do condutor terra

do chuveiro conectado ao neutro, porém esses dois últimos estão em desacordo com a NBR5410.

Cada sistema de aterramento é representado por letras, tendo cada uma delas a sua representação prática, segundo a norma brasileira 5410.

A primeira letra refere-se à situação da alimentação em relação à terra:

T = um ponto diretamente aterrado;

I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;

A segunda letra – relação das massas da instalação elétrica em relação à terra:

T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto de alimentação;

N = massas ligadas ao ponto de alimentação aterrado (em CA, normalmente o ponto é o neutro);

As seguintes letras são eventuais dependentes da disposição do neutro e o de proteção.

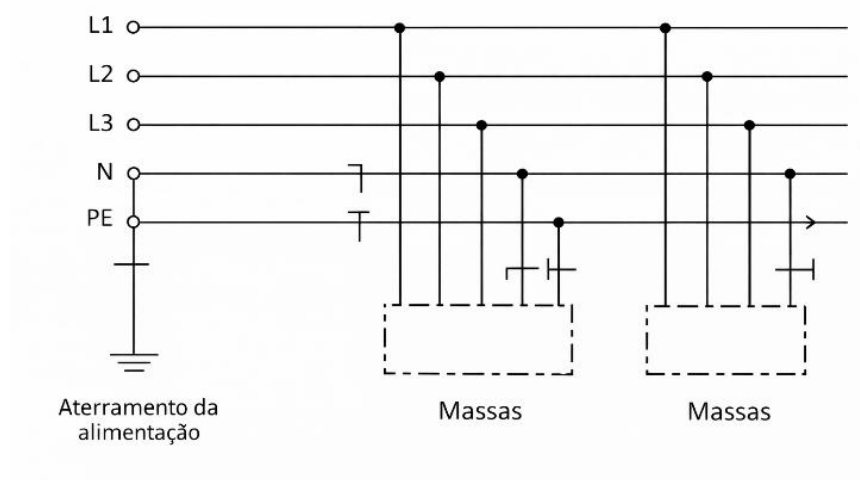
S = função neutro e terra condutores distintos;

C = função neutro e terra no mesmo condutor (PEN).

2.2.1 Sistema TN-S

O sistema TN-S caracteriza-se pela separação entre N e PE em toda a instalação. Embora a concessionária entregue o Neutro (geralmente aterrado na rede), a separação para o esquema TN-S é feita na origem da instalação (ex: residência), ocorrendo no quadro de distribuição, garantindo que as correntes de retorno não circulem pelo condutor de proteção. Imagem 9:

Imagem 9 – Sistema TN-S.

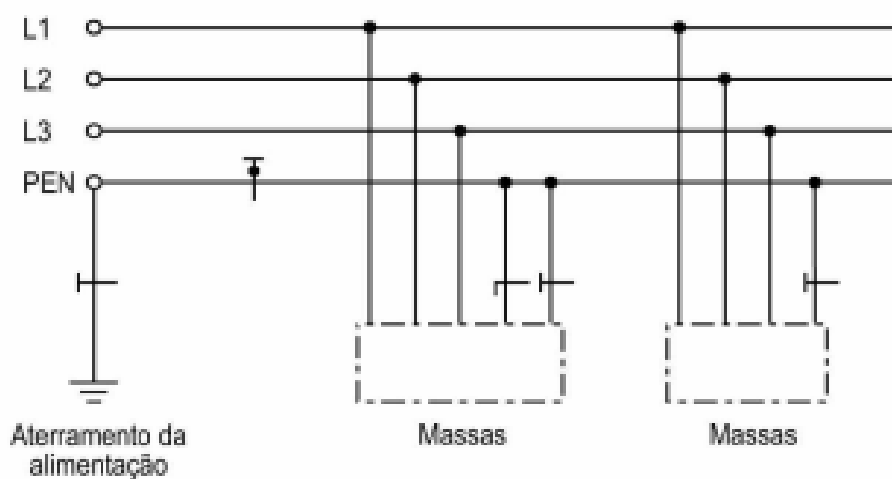


Fonte: NBR5410 (2004).

2.2.2 Sistema TN-C

No sistema TN-C, o condutor neutro e o condutor de proteção são combinados em um único condutor denominado *Protective Earth and Neutral* (PEN), conforme Imagem 10.

Imagem 10 – Sistema TN-C.



Fonte: NBR5410 (2004).

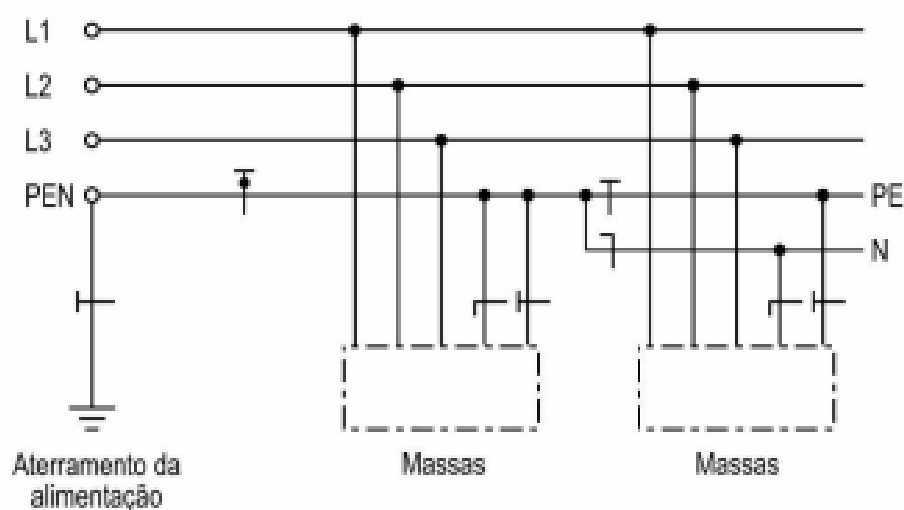
Essa configuração reduz a quantidade de cabos, tornando a instalação mais econômica. Entretanto, a ABNT NBR 5410 estabelece restrições para a utilização do condutor PEN. Conforme o item 5.4.3.6, da referida norma, em toda edificação alimentada por uma linha elétrica em esquema TN-C, o condutor PEN deve ser separado, a partir do ponto de entrada da alimentação ou do quadro de distribuição

principal, em condutores distintos para as funções de neutro e de proteção. Dessa forma, a alimentação, inicialmente em esquema TN-C, passa a operar internamente em esquema TN-S, caracterizando globalmente um esquema TN-C-S. A nota associada a esse item justifica essa exigência por razões de segurança e confiabilidade mecânica. Além disso, conforme a nota do item 5.1.2.2.4.2 da NBR 5410, a utilização de dispositivo IDR somente é permitida após essa separação do condutor PEN, ou seja, no trecho da instalação que opera em esquema TN-S.

2.2.3 Sistema TN-C-S

O sistema TN-C-S é uma combinação das duas configurações anteriores. A concessionária fornece um único condutor PEN(TN-C) até um ponto específico, geralmente o padrão de entrada da edificação (o quadro de distribuição de circuitos da residência). A partir desse ponto, ocorre a separação dos condutores em neutro (N) e proteção (PE) transformando-se em um TN-S, que seguirão independentes por toda a instalação, assim caracterizando o TN-C-S. Esse sistema é amplamente utilizado no Brasil, pois oferece um equilíbrio entre custo e segurança, embora dependa da integridade do trecho onde neutro e proteção ainda percorrem o mesmo condutor. Imagem 11:

Imagem 11 – Sistema TN-C-S.

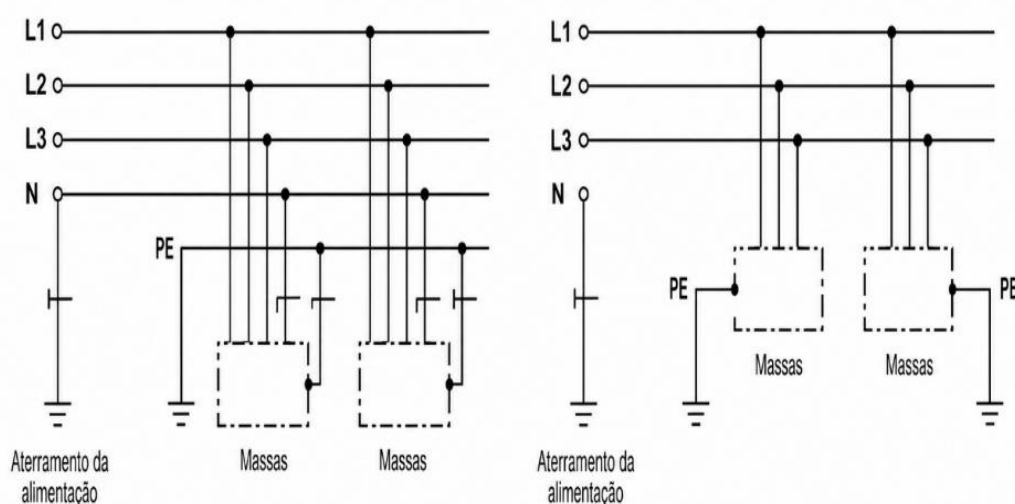


Fonte: NBR5410 (2004).

2.2.4 Sistema TT

O aterramento TT, Imagem 12, é totalmente independente do aterramento da concessionária. A concessionária fornece apenas fase(s) e neutro, enquanto o condutor de proteção (PE) da edificação é conectado a um eletrodo próprio de aterramento, geralmente uma haste ou malha enterrada. Essa característica faz com que a resistência do eletrodo de aterramento tenha papel central na eficiência da proteção, porém com adicional obrigatório do uso do diferencial residual DR, segundo a NBR5410 5.1.2.2.4.3 - item (a). No caso a ser estudado, o aterramento apresentado, será o TT:

Imagem 12 – Sistema TT.



Fonte: NBR5410 (2004).

2.3 FORNECIMENTO DE ENERGIA E ATERRAMENTO SEGUNDO A CELESC

O fornecimento de energia elétrica e o sistema de aterramento definidos pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) estabelecem critérios técnicos que visam garantir a segurança, a confiabilidade e o adequado funcionamento das instalações elétricas.

2.3.1 A concessionária e a normalização

A CELESC é a distribuidora responsável pelo fornecimento de energia elétrica em tensão secundária no estado de Santa Catarina. O atendimento a unidades individuais e pequenos agrupamentos é pela norma técnica N-321.0001(Norma de Fornecimento de Energia em Baixa Tensão de Distribuição). Conforme o campo de aplicação desta norma, sua abrangência estende-se a instalações de unidades consumidoras individuais ou agrupamentos limitados a três unidades monofásicas, ou ainda a duas unidades consumidoras, desde que uma seja monofásica e a outra bifásica, contanto que não haja compartilhamento de fase da rede de distribuição entre elas como diz no item 5.2 da N-321.0001.

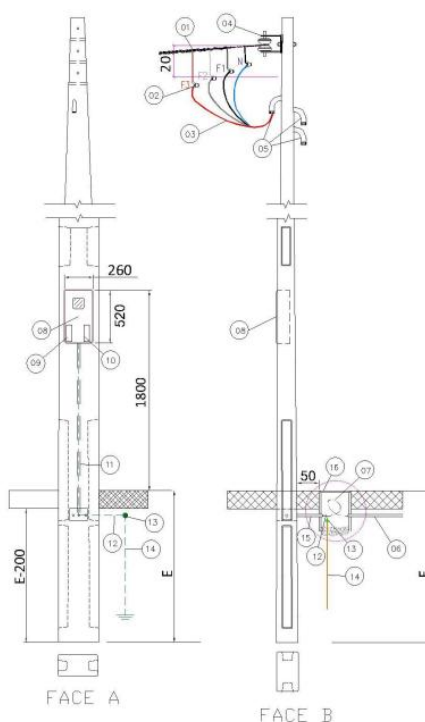
2.3.2 O sistema de medição e a natureza do aterramento funcional

O padrão de entrada para o atendimento dessas unidades é composto pelo conjunto denominado "Kit Poste", que integra o poste (de concreto ou fibra de vidro), o ramal de entrada, as caixas de medição e o sistema de aterramento.

É fundamental dizer que, conforme as notas explicativas da norma N-321.0001, o aterramento executado no padrão de entrada possui natureza exclusivamente funcional, servindo ao Sistema Elétrico de Potência (SEP). Este aterramento tem como finalidade principal garantir a referência de potencial "zero" para o condutor neutro da rede. Consequentemente, o aterramento de proteção das edificações internas permanece sob inteira responsabilidade do projetista, devendo ser dimensionado para garantir a segurança dos usuários contra contatos indiretos, independentemente da malha da concessionária.

Abaixo, Imagem 13, apresenta-se a disposição física e o detalhamento do ponto onde ocorre essa conexão funcional no poste, e o Quadro 1 para descrição do desenho:

Imagem 13 – Representação entrada trifásico kit postinho.



Fonte: Celesc Distribuição (2025, p 17).

Quadro 1 – Descrição kit poste CELESC.

ITEM	DESCRIÇÃO
01	Ramal de ligação em alumínio multiplexado.
02	Conector cunha ou perfurante.
03	Ramal de entrada com cabos flexíveis, classe 5, com isolamento EPR, XLPE ou HEPR 90°C para 0,6/1kV, conforme especificação Celesc, instalar conector terminal adequado para conexão ao medidor e ao disjuntor.
04	Armação secundária com isolador roldana.
05	Saída em curva e eletroduto PVC rígido (diâmetro = 1 ¼", 1 ½", ou 2" – 90°, para os ramos de entrada e saída e diâmetro = 3/4", para comunicações).
06	Eletroduto de PEAD ou PVC – Ramal de Saída.
07	Ramal de saída com cabos flexíveis, classe 5, com isolamento EPR, XLPE ou HEPR 90°C para 0,6/1kV, conforme especificação Celesc, instalar conector terminal adequado para conexão ao medidor e ao disjuntor.
08	Caixa para medidor, padrão Celesc, conforme NBR 15820
09	Visor do DPS.
10	Acesso ao disjuntor (proteção geral).
11	Eletroduto de PVC rígido ou orifício de d=3/4" para passagem de fio terra.
12	Cabo de aterramento classe 2 a 5 conforme tabela 01 e 02 da N-321.0001, na cor verde ou verde-amarelo, isolado para 450/750V (mínimo).
13	Conector de aterramento, conforme especificação 04 da norma N-321.0001 da Celesc.
14	Haste de aterramento com Ø 5/8" ou 1/2" x 2,40m x 0,254µ/m de cobre conforme NBR 13571 e especificação Celesc E-313.0007.
15	Saída subterrânea com eletroduto PVC rígido ou orifício de diâmetro = 1 ¼", 1 ½", ou 2".
16	Caixa de passagem (quando ramal de carga for subterrâneo) e de inspeção do aterramento.

Fonte: Celesc Distribuição (2025, p 18).

2.3.3 Diferenciação dos esquemas de aterramento e proteção

A partir do ponto de entrega, o sistema de proteção deve ser definido seguindo as diretrizes da NBR 5410. As principais configurações adotadas são:

Esquema TN-C-S, TN-C cabo PEN vindo do poste até o quadro de distribuição (entrada) onde há a separação física do cabo PEN em condutor de proteção (PE) e o condutor neutro (N) no quadro de entrada, caracterizando o TN-S, desta forma, em na sua totalidade, TN-C-S. Este esquema oferece alta confiabilidade no seccionamento automático via disjuntores em caso de falta fase-massa.

Esquema TT: Configuração em que a haste de proteção da residência é eletricamente independente da haste funcional do poste da concessionária. Devido à alta impedância característica do solo, este esquema exige obrigatoriamente a instalação de um Interruptor Diferencial Residual (IDR). O IDR atua na detecção de correntes de fuga de miliampères, garantindo o seccionamento do circuito em tempo seguro para evitar choques elétricos fatais, algo que a proteção termomagnética comum (disjuntor) pode não detectar neste arranjo.

2.4 CHUVEIRO ELÉTRICO

O chuveiro elétrico, Imagem 14, é um equipamento que tem como função o aquecimento instantâneo da água por meio do efeito Joule. A estrutura externa do chuveiro pode ter como material polipropileno (PP), o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) em aparelhos de médio porte devido à sua superior rigidez e acabamento superficial. Em contrapartida, modelos de alto desempenho utilizam Plásticos de Engenharia, como o Poliacetal.

Imagem 14 – Chuveiro elétrico.

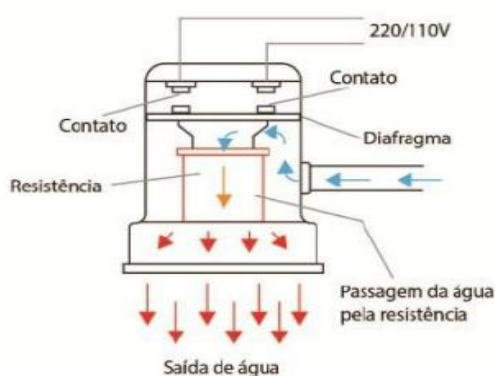


Fonte: (2026).

O aquecimento instantâneo da água acontece quando a corrente elétrica que atravessa uma resistência metálica, de níquel e bromo, converte energia elétrica em energia térmica. Seu funcionamento baseia-se no fluxo de água que, ao passar pela

câmara interna, aciona o diafragma, fechando os contatos do circuito elétrico e energizando a resistência, Imagem 15. Assim, a água é aquecida imediatamente antes de sair, tornando o sistema extremamente eficiente em potência útil. No modelo tradicional, conhecido simplesmente como chuveiro elétrico, o controle de temperatura é mecânico. (Silva, 2020).

Imagem 15 – Funcionamento do chuveiro elétrico.



Fonte: Araujo, Silva e Andrade (2023).

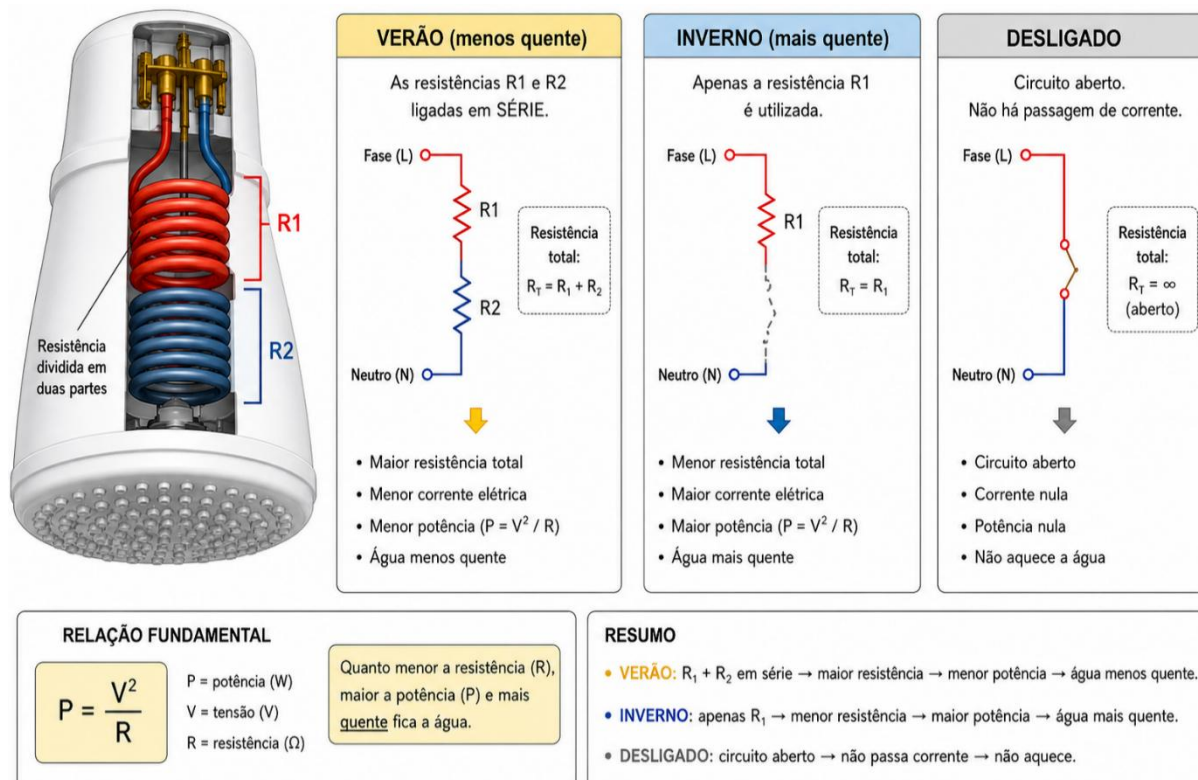
Quando o usuário altera a chave “verão/inverno” ou “quente/morno”, na resistência, Imagem 16, está selecionando partes diferentes da resistência, o que modifica a potência elétrica dissipada e, portanto, a temperatura da água, como mostra o esquema do circuito elétrico da Imagem 17, com base na teoria apresentada.

Imagem 16 – Resistência dividida em duas partes.



Fonte: Silva, Fonseca e Nunes (2020).

Imagem 17 – Dinâmica de funcionamento interno chuveiro elétrico.



Fonte: Elaboração própria com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT, OpenAI).

A construção de chuveiros elétricos no Brasil apresenta-se basicamente sob dois métodos de aquecimento: o de fio de níquel-cromo exposto e o de resistência blindada, Imagem 18. No primeiro caso, o filamento condutor fica em contato direto com o fluxo de água, o que exige que a segurança contra choques dependa da resistividade da água e do correto aterramento do sistema para drenar correntes de fuga. Por outro lado, a resistência blindada utiliza um elemento de aquecimento protegido por um invólucro metálico (geralmente aço inoxidável ou cobre) e isolado internamente por um material dielétrico, como o óxido de magnésio. Esse isolamento impede o contato elétrico direto entre a parte viva e a água.

Imagem 18 – Tipos de resistência nos chuveiros.



Fonte: adaptado de Silva (2020).

O chuveiro eletrônico também é um chuveiro elétrico, pois utiliza resistência aquecida por corrente elétrica, porém com um sistema de controle eletrônico de potência. Em vez de selecionar fisicamente partes da resistência, o circuito eletrônico realiza a variação contínua da potência por meio de acionamento eletrônico, geralmente *Diode for Alternating Current* (DIAC), *Triode for Alternating Current* – TRIAC e circuitos de controle.

No chuveiro eletrônico a temperatura é ajustada de forma progressiva e precisa, por meio de um potenciômetro, sensor ou botão digital alterando a tensão eficaz e a corrente de funcionamento.

Não é necessário desligar o chuveiro ou mudar etapas de resistência; o ajuste ocorre com o equipamento em funcionamento, diferentemente do chuveiro puramente resistivo.

Portanto, a diferença entre eles não é de princípio de funcionamento, mas sim de tecnologia de controle. Ambos continuam sendo chuveiros elétricos, pois aquecem água através da mesma física (efeito Joule) usando resistência metálica energizada. O chuveiro eletrônico apenas adiciona um módulo de controle inteligente para modular a potência. Imagem 19.

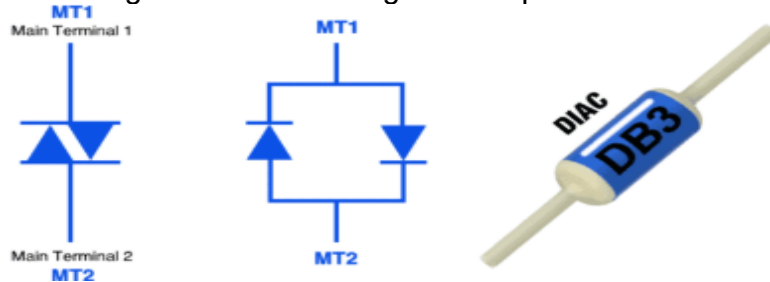
Imagem 19 – Chuveiro eletrônico.



Fonte: Hydra (2025).

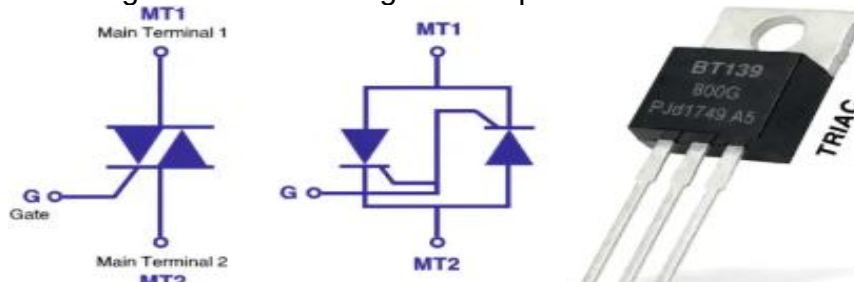
O circuito de um chuveiro eletrônico é composto por componentes como o diodo para corrente alternada (DIAC), Imagem 20, e o triodo para corrente alternada (TRIAC), Imagem 21, estes componentes têm papel fundamental para o controle de temperatura do chuveiro elétrico (CRUZ,2009).

Imagem 20 – Simbologia e componente DIAC



Fonte: Eletrical Technology (2021).

Imagem 21 – Simbologia e componente TRIAC.



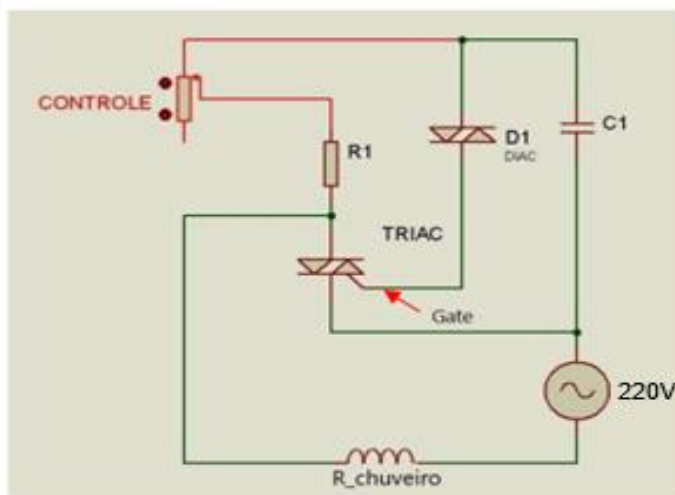
Fonte: Eletrical Technology (2021).

O DIAC é um dispositivo semicondutor de dois terminais que funciona como um gatilho bidirecional. O DIAC pode conduzir corrente em ambas as direções, mas apenas após a tensão em seus terminais ultrapassar um valor específico, conhecido como tensão de ruptura, esta tensão pode variar, dependendo do modelo, recomenda-se olhar o *datasheet* (CRUZ,2009).

Sua principal função em circuitos de potência não é controlar a carga diretamente, mas sim garantir que o disparo de outros componentes, como o TRIAC, ocorra de maneira estável e simétrica. Enquanto a tensão não atinge o ponto de ruptura, o DIAC se comporta como um circuito aberto (não conduz); assim que a tensão é atingida, ele "dispara", permitindo a passagem de um pulso de corrente abrupto (CRUZ,2009).

O TRIAC é um componente semicondutor de três terminais (MT1, MT2 e Gate) projetado para controlar a passagem de corrente alternada. Ele pode ser entendido como dois retificadores controlados de silício (SCRs) ligados em antiparalelo, o que permite que ele conduza corrente nos dois sentidos da onda senoidal (ciclo positivo e negativo) quando um sinal é aplicado ao seu terminal de gatilho (Gate). Por ser capaz de bloquear a corrente ou deixá-la passar em ambos os sentidos, o TRIAC é o componente ideal para variar a potência entregue a cargas de corrente alternada, como o chuveiro eletrônico. Ele atua como um interruptor eletrônico de alta velocidade: ao controlar o momento exato dentro de cada ciclo da onda senoidal em que o TRIAC é ligado, controla-se a quantidade média de energia que chega à carga. (CRUZ, 2009). O circuito de um chuveiro eletrônico é representado da seguinte maneira, Imagem 22.

Imagem 22 – Circuito chuveiro elétrico.



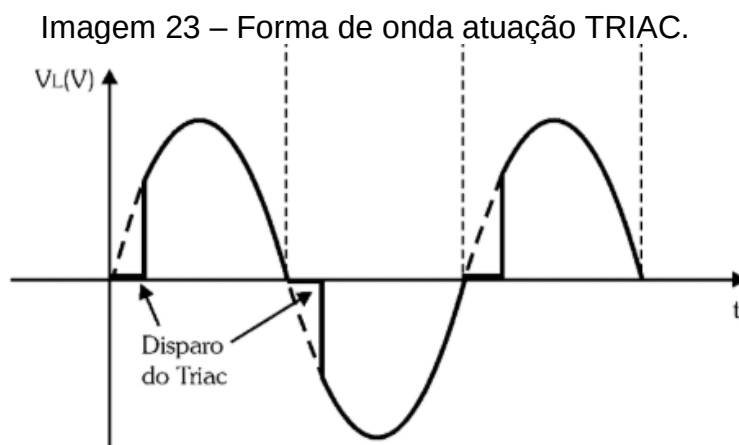
Fonte: Adaptado de SANTOS (2023).

O trabalho em conjunto do DIAC e do TRIAC se dá da seguinte forma:

O circuito do chuveiro eletrônico utiliza um TRIAC, um semicondutor capaz de controlar altas correntes, para ligar e regular a potência entregue à resistência. Esse

TRIAC fica em série com o elemento de aquecimento e determina em que momento de cada semiciclo da rede elétrica a corrente será conduzida (SANTOS, 2023).

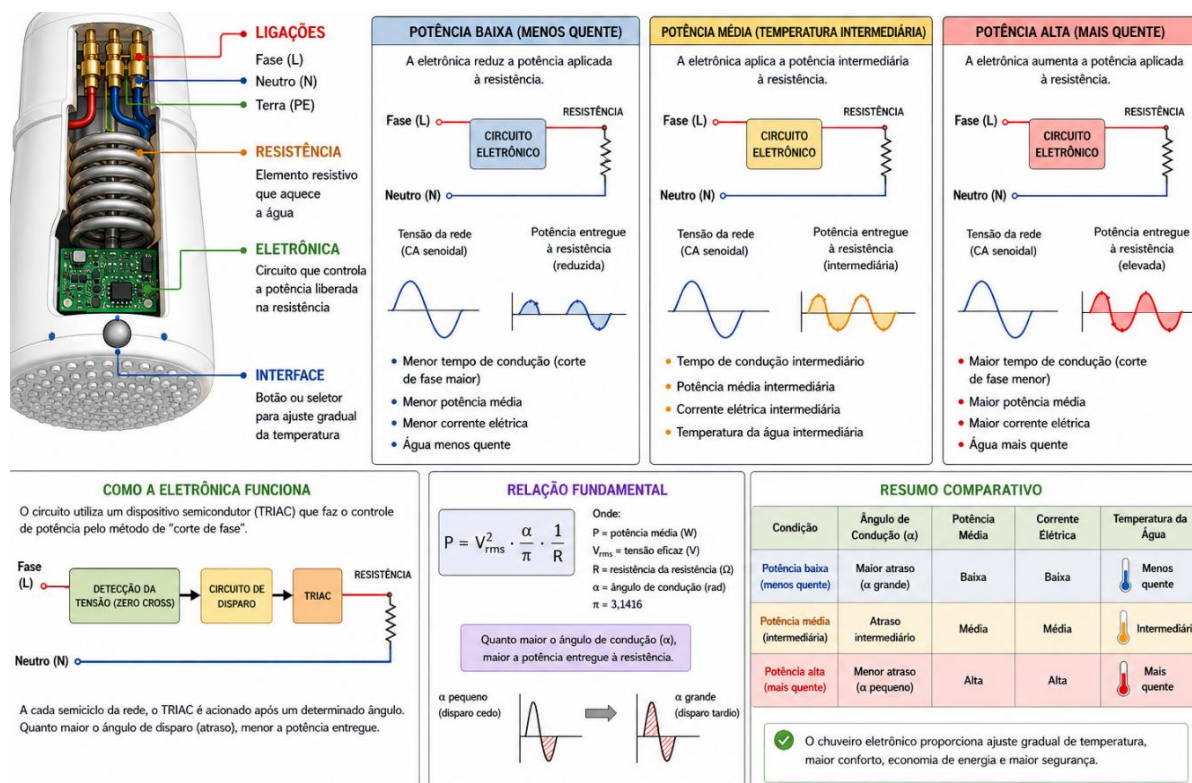
Para definir esse momento, usa-se um DIAC ligado ao *gate* do TRIAC e uma rede RC (resistor + capacitor). A cada semiciclo, o capacitor carrega até atingir a tensão de disparo do DIAC; quando isso acontece, o DIAC dispara, ativando o TRIAC. Se o disparo ocorrer no início do semiciclo, o chuveiro recebe quase toda a energia, gerando calor máximo. Se o disparo for atrasado, apenas uma parte do semiciclo é usada, resultando em menor potência e menos calor. No fim de cada semiciclo, o TRIAC desliga automaticamente e o ciclo recomeça, tornando possível ajustar a temperatura eletronicamente, como mostra a forma de onda (Cruz e Junior, 2009), Imagem 23:



Fonte: Cruz e Junior (2009, p. 256).

Assim, o uso combinado de DIAC, TRIAC e rede RC permite controlar a potência de aquecimento de forma eficiente e contínua, sem uso de chaves mecânicas, como mostra de forma resumida na Imagem 24, com base na teoria apresentada.

Imagem 24 – Dinâmica de funcionamento interno chuveiro eletrônico



Fonte: Elaboração própria com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT, OpenAI).

2.5.1 Choque elétrico em chuveiros

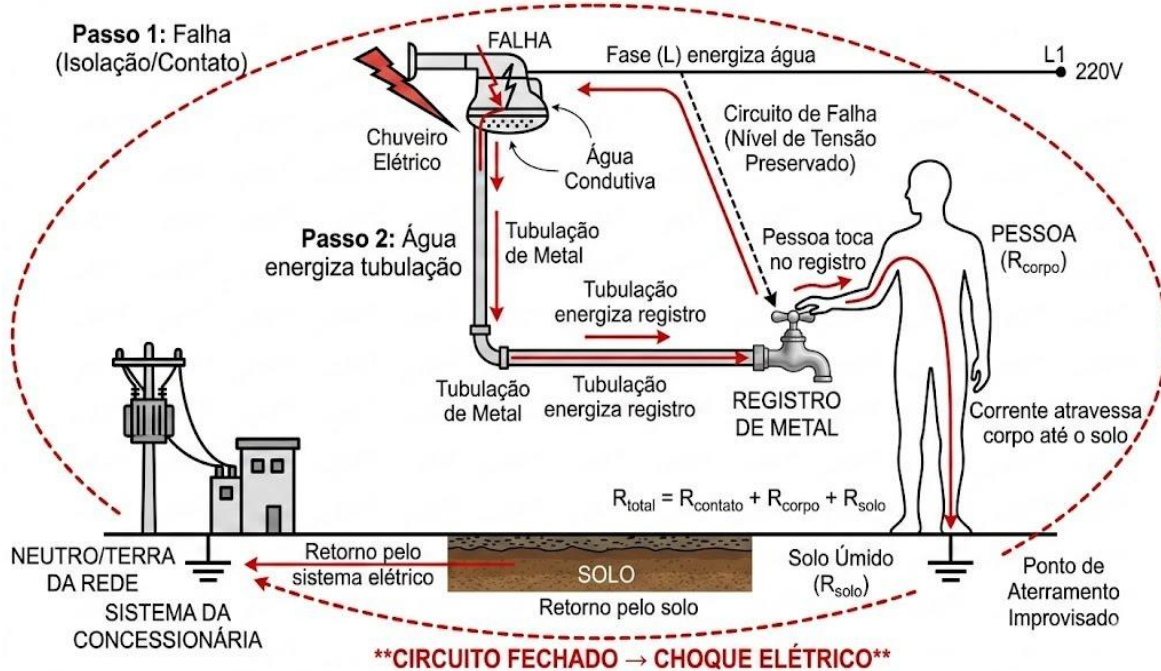
O ambiente do banheiro é classificado como um local de risco elevado devido à presença de umidade, o que reduz drasticamente a impedância do corpo humano. Segundo Mamede Filho (2023), a combinação de pele molhada e superfícies condutivas facilita a circulação de correntes elétricas que, em condições secas, seriam irrelevantes.

2.5.1.2 Choque elétrico por contato indireto

O choque ao manusear o registro de um chuveiro com falha de isolamento caracteriza-se como um contato indireto sob tensão de toque. Este fenômeno ocorre quando a resistência de aquecimento perde sua integridade dielétrica, transferindo potencial elétrico para a água. Conforme explica Cotrim (2009), o contato indireto ocorre quando uma pessoa toca uma massa ou parte condutiva energizada em decorrência de uma falha de isolamento. Em sistemas de tubulação de PVC ou metálico,

a própria coluna de água interna atua como um condutor, transportando o potencial até o corpo metálico do registro. No momento em que o usuário toca o registro, ele estabelece um caminho resistivo entre o ponto energizado e o solo úmido. Caso a instalação não tenha um sistema de aterramento eficiente, o corpo humano torna-se o principal percurso para a corrente de falta fechar o circuito, mostra-se na Imagem 25, com base na teoria apresentada.

Imagem 25 – Representação choque indireto ao tocar registro.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio da Inteligência Artificial Gemini.

2.5.2 Causas que levam ao choque por contato indireto

O contato indireto representa uma das principais situações de risco, podendo ocorrer em decorrência de diferentes condições de falha.

2.5.2.1 Choque elétrico devido a resistência danificada

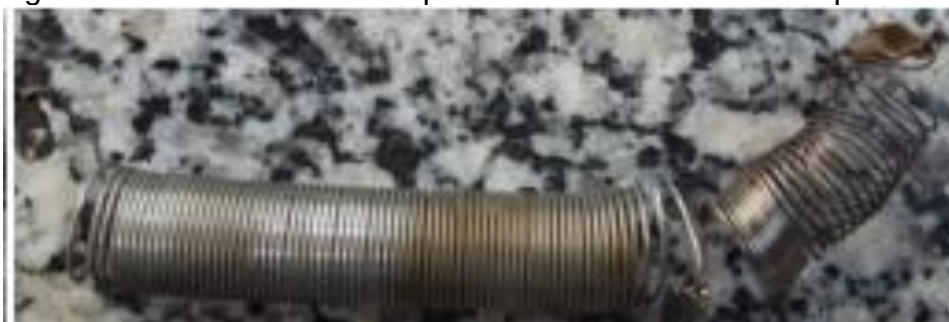
O risco de choque elétrico em chuveiros acontece quando ocorre o comprometimento da integridade física da resistência, em especial, em instalações sem aterramento adequado. Em condições ideais, o projeto do equipamento prevê que a corrente circule pelo caminho de menor impedância (a resistência); contudo, o desgaste térmico e a corrosão ao longo do tempo podem alterar essa dinâmica.

Conforme Nilsson e Riedel (2015), a corrente elétrica flui por todos os caminhos fechados disponíveis onde exista uma diferença de potencial. Assim, se a estrutura da resistência sofrer uma ruptura ou degradação, a água, que atua como um eletrólito, passa a oferecer um caminho alternativo para a eletricidade.

No caso das resistências comuns de níquel-cromo, o problema surge quando o fio se rompe ou se deforma excessivamente, aproximando-se das partes metálicas do chuveiro ou saturando a água com um potencial elétrico. Já nas resistências blindadas, o choque é uma consequência direta da ruptura da bainha metálica ou da perda da capacidade isolante do óxido de magnésio interno. Segundo Mamede Filho (2023), quando essa barreira física é rompida, ocorre o contato galvânico direto entre a fase e a água.

De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60335-2-35, os aparelhos devem manter limites rigorosos de corrente de fuga. No entanto, quando a estrutura da resistência está deteriorada, Imagem 26, esses limites são ultrapassados.

Imagem 26 – Resistência de níquel-cromo deteriorada e rompida.



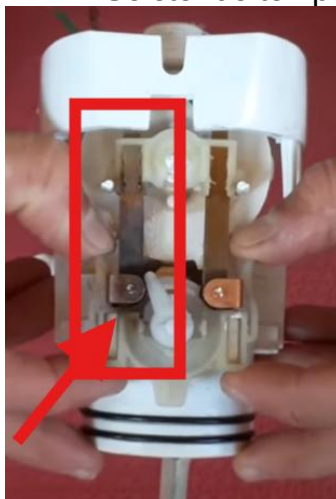
Fonte: Silva, Fonseca e Nunes (2020).

Sem um condutor de proteção (fio terra) eficiente ou um dispositivo IDR para seccionar o circuito, a água energizada por essa falha estrutural utiliza o corpo do usuário como caminho para o solo. Portanto, o choque não é apenas um fenômeno elétrico, mas o resultado de uma falha mecânica e química da resistência que não foi detectada pelos sistemas de proteção da instalação (COTRIM, 2009). Nessa condição, pode haver fuga de corrente da fase para a água, elevando seu potencial elétrico e criando risco ao usuário. Assim, o choque elétrico não ocorre pelo simples fato de a resistência estar em contato com a água, mas sim quando há comprometimento do isolamento elétrico, ou estrutural combinado com mau aterramento ou a ausência do mesmo do que originalmente projetado para garantir a segurança do equipamento.

2.5.2.2 Choque elétrico devido a falhas estruturais

A segurança elétrica do chuveiro é intrinsecamente dependente da integridade mecânica de seus componentes internos, que atuam como barreiras de isolamento entre a câmara de aquecimento e a de contatos. Falhas estruturais, como a ruptura do diafragma por ressecamento térmico ou a carbonização do sistema seletor devido a arcos elétricos sucessivos, Imagem 27, comprometem essa separação física necessária. Segundo Cavalin e Cervelin (2017), a redução da resistência de isolamento decorrente da presença de umidade pode favorecer o estabelecimento de caminhos condutivos indesejados entre partes energizadas e partes normalmente isoladas. Em chuveiros elétricos, essa condição pode contribuir para o surgimento de correntes de fuga e aumentar o risco de choque elétrico. Conforme estabelece a NBR 12483 (ABNT, 2015), a durabilidade desses elementos é rigorosa, porém o uso severo ou a má vedação pode danificar a parte interna do aparelho, criando caminhos de baixa resistência para a eletricidade.

Imagem 27 – Seletor de temperatura.



Fonte: Rodrigues (2020).

Quando ocorre uma falha de isolamento interna que permite a presença de tensão em partes acessíveis do chuveiro, estabelece-se uma condição de tensão de toque capaz de expor o usuário ao risco de choque elétrico. Conforme descreve Kindermann (2017), a severidade desse risco depende da tensão aplicada, da impedância do corpo humano, das condições do ambiente e da existência de medidas de proteção adequadas. Em locais úmidos, a redução da resistência de contato entre o corpo e o

solo pode favorecer a circulação de correntes elétricas através do organismo caso o usuário toque simultaneamente uma parte energizada e um ponto de potencial diferente. Nessas condições, a ausência de um sistema de aterramento eficiente e de um IDR pode dificultar o desligamento automático da alimentação durante uma falha, aumentando a probabilidade de exposição a correntes perigosas de choque.

2.5.2.3 Choque elétrico devido a instalação inadequada segundo a norma NBR5410

No esquema de aterramento TT, o condutor de proteção possui um eletrodo de aterramento próprio, eletricamente distinto do aterramento do neutro da concessionária. Segundo a NBR 5410 (ABNT, 2004), o uso de um Dispositivo Diferencial Residual (DR) é obrigatório e indispensável nesse sistema, pois, em caso de falha de isolamento, a corrente de falta deve retornar à fonte pelo solo. Na ausência do IDR, a instalação permanece energizada mesmo sob falha, pois o disjuntor não "percebe" a fuga de corrente de baixa intensidade.

2.5.2.4 Choque elétrico devido a junção do condutor terra do chuveiro ao neutro da instalação

O aterramento feito por meio da conexão direta entre o neutro da instalação elétrica e a massa metálica do equipamento (terra do chuveiro), como ocorre em alguns chuveiros elétricos, é uma prática comum em instalações antigas, mas não é reconhecida como forma adequada de proteção contra choques elétricos e não se adequa ao TN-C. Essa configuração cria uma situação em que a carcaça do equipamento depende exclusivamente do neutro para manter-se no mesmo potencial da terra, o que compromete a segurança, especialmente quando o neutro apresenta defeitos ou elevação de potencial.

Em condições ideais, o neutro possui potencial próximo de zero porque é aterrado na subestação, no transformador da concessionária, ou no poste do relógio de medição. Entretanto, esse condutor pode sofrer quedas de tensão, afrouxamento de conexões, corrosão, rupturas ou até inversão de fases e neutro em instalações mal identificadas. Quando isso ocorre, a massa metálica do equipamento que está ligada ao neutro pode assumir um potencial perigoso, expondo o usuário a risco de choque elétrico ao tocar o equipamento ou a água conduzida por ele.

Segundo a ABNT NBR 5410, o condutor neutro não deve ser utilizado como condutor de proteção (PE) dentro da instalação interna do consumidor. Essa função só é permitida em sistemas específicos. O correto é que a massa metálica do chuveiro seja ligada ao condutor de proteção, que por sua vez se conecta a um eletrodo de aterramento independente, como ocorre nos sistemas TT, ou ao barramento PE derivado de um sistema TN-S ou TN-C-S devidamente implementado.

Quando o aterramento da massa é feito diretamente no neutro, Imagem 28, perde-se a função essencial da proteção por equipotencialização, além de inviabilizar o desempenho do IDR (Interruptor Diferencial Residual), que depende da existência de um caminho separado de escoamento de corrente de fuga para funcionar corretamente. Isso significa que, se o neutro for utilizado como aterramento do chuveiro, o IDR pode não desarmar em caso de fuga de corrente, anulando a proteção adicional contra choques elétricos prevista na norma.

Imagem 28 – Chuveiro neutro e terra.



Fonte: o autor.

Portanto, a prática de ligar o condutor terra do chuveiro diretamente ao neutro configura um aterramento impróprio, tecnicamente inseguro, proibido pela NBR 5410 e incompatível com as recomendações da CELESC, que exige a instalação de um eletrodo de aterramento próprio no padrão de entrada e a separação entre neutro e condutor de proteção na instalação interna. Em resumo, o neutro não deve ser usado como substituto do aterramento, e sua utilização direta na massa aumenta significativamente o risco de acidentes elétricos.

2.5.2.4 Choque elétrico devido a instalação sem o condutor terra

Em uma instalação elétrica, quando ocorre uma falha no isolamento da resistência do chuveiro, especialmente na ausência de um condutor de proteção

(terra), conforme ilustrado na Imagem 29, uma eventual ruptura ou corrosão da blindagem pode permitir que a fase transfira potencial elétrico para a água em circulação. Como essa água mantém contato com componentes metálicos, como o registro, estes podem assumir um potencial elevado em relação ao solo.

Imagem 29 – Sem condutor terra na instalação



Fonte: o autor.

O choque ocorre quando o usuário toca o registro metálico, passando a conduzir corrente elétrica, já que a resistência do corpo é reduzida pela umidade e pelo contato com o piso molhado.

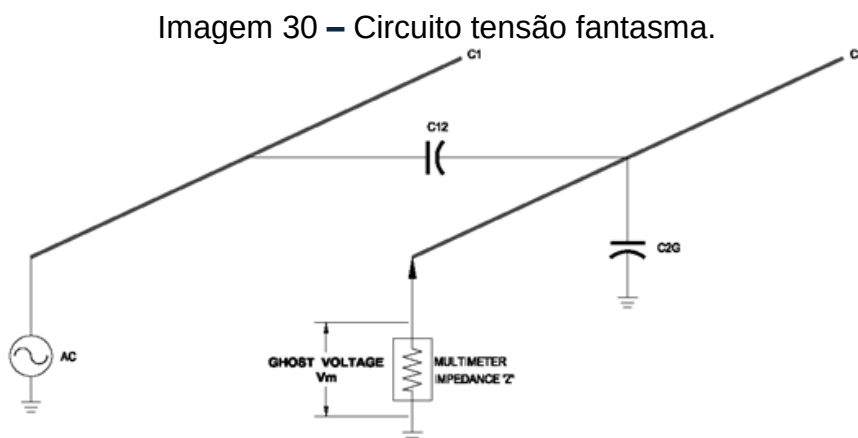
Conforme Creder (2016), na ausência de um condutor de proteção adequado, a corrente de fuga não encontra um caminho de baixa impedância para retornar à fonte, podendo percorrer o corpo humano como um dos caminhos até a terra. Esse risco é agravado pela presença de água, que reduz o isolamento do ambiente, e pela ausência de aterramento eficiente e de dispositivos como o DR, favorecendo a ocorrência de tensões perigosas e acidentes graves.

2.5.3 Choque elétrico e a tensão fantasma

A tensão fantasma ou tensão induzida, define-se como um potencial elétrico mensurável em condutores ou partes metálicas que não possuem uma conexão galvânica com a fonte de energia. Diferente de uma falha de isolamento, este fenômeno é uma manifestação direta do acoplamento capacitivo, onde a energia é transferida através de campos elétricos entre condutores adjacentes. Em instalações elétricas, a tensão fantasma caracteriza-se por apresentar uma leitura de potencial que desaparece instantaneamente ao ser submetida a uma carga de baixa impedância. Isso ocorre porque a fonte desse potencial possui uma impedância interna extremamente elevada, sendo capaz de carregar capacitâncias parasitas, mas

incapaz de sustentar uma corrente de regime estável (FLUKE CORPORATION, 2003).

O princípio físico por trás desse evento fundamenta-se na formação de um capacitor involuntário entre os componentes do sistema. Conforme ilustrado na Imagem 30, o condutor C_1 (fase energizada) gera um campo elétrico que induz um potencial no condutor C_2 (parte metálica ou circuito aberto). A interação é regida pela capacitância mútua (C_{12}) e pela capacitância em relação à terra C_{2G} .



Fonte: Disturbance (2023).

A magnitude dessa tensão induzida (V_m) é frequentemente registrada por multímetros digitais de alta impedância (5 a $10M\Omega$), que não exercem carga suficiente para drenar as cargas acumuladas. A relação matemática para essa medição é expressa pelo divisor de tensão capacitivo na equação (4).

$$V_m = V_{ac} \left(\frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2G}} \right) \quad (4)$$

De acordo com a literatura técnica, enquanto um multímetro convencional pode registrar valores significativos em um chuveiro não aterrado, o uso de um instrumento de baixa impedância (LoZ) forçará a descarga dessa capacitância, resultando em uma leitura próxima de zero, confirmando a natureza "fantasma" do fenômeno (Voltage Disturbance, 2023).

No caso específico de chuveiros elétricos sem aterramento funcional (PE), em especial, a resistência interna atua como o condutor primário energizado, enquanto a carcaça plástica úmida, o registro metálico, a tubulação e a própria coluna de água assumem o papel do condutor induzido. Sem um caminho de escoamento para a terra,

esses elementos flutuam em um potencial determinado pela reatância capacitiva do sistema.

Quanto à segurança e à percepção humana, o usuário pode eventualmente perceber um leve formigamento ao tocar no registro metálico. Essa sensação pode estar associada a um fenômeno combinado, envolvendo tanto um pequeno transiente de descarga devido a tensão no instante do contato quanto a circulação contínua de correntes de baixa intensidade decorrentes do acoplamento capacitivo com a rede elétrica. Nessas condições, o corpo humano atua como caminho para o escoamento dessa corrente, cuja magnitude é limitada pela elevada impedância do circuito, situando-se tipicamente na ordem de microampères a poucos miliampères, geralmente próxima ou abaixo do limiar de percepção humana.

De acordo com Instalações Elétricas e com os limites fisiológicos descritos na IEC 60479-1 (que trata de efeitos da corrente elétrica no corpo do ser humano e de animais), correntes nessa faixa tendem a não produzir efeitos fisiológicos perigosos em condições normais. Entretanto, a persistência de uma tensão sob carga caracteriza uma situação distinta, indicando a existência de uma fuga de corrente real decorrente de falha de isolamento. Nesses casos, a impedância do circuito é significativamente reduzida, permitindo a circulação de correntes potencialmente perigosas, o que representa risco elevado de choque elétrico e possível eletrocussão. O Quadro 2 resume as principais distinções entre esses dois estados.

Quadro 2 – Comparação técnica tensão fantasma x tensão para fuga de corrente.

Característica	Tensão Fantasma (<i>Stray Voltage</i>)	Tensão para fuga de corrente
Origem Física	Acoplamento capacitivo (campos elétricos)	Falha no dielétrico ou contato direto
Comportamento sob Carga	A tensão cai drasticamente para ~0V	A tensão permanece estável
Capacidade de Corrente	Muito baixa (ordem de uA)	Alta (limitada apenas pela resistência do caminho)
Percepção Humana	Formigamento leve ou "picada" momentânea	Choque elétrico contínuo e perigoso
Diagnóstico com LoZ	Leitura próxima de zero	Leitura da tensão diferente de zero
Risco à Vida	Desprezível (em condições normais)	Elevado

Fonte: O autor (2026), baseado em Fluke (2003) e NBR 5410.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO (EXPERIMENTO)

Este capítulo apresenta a metodologia e os procedimentos experimentais adotados para investigar o impacto de diferentes configurações de aterramento, bem como da ausência destes, na segurança elétrica de chuveiros em instalações residenciais. O estudo possui caráter experimental e quantitativo, sendo desenvolvido a partir de um estudo de caso comparativo em uma instalação elétrica real, com foco na identificação e análise das tensões presentes.

Inicialmente, foi realizada a caracterização da instalação elétrica, abrangendo a análise do sistema desde o padrão de entrada da concessionária até o quadro de distribuição da edificação, com o objetivo de identificar a configuração do sistema de aterramento conforme os critérios estabelecidos pela NBR 5410. Essa etapa constitui a base para o desenvolvimento do estudo, permitindo compreender as condições elétricas existentes na instalação.

A partir dessa identificação, foram conduzidos os procedimentos experimentais em um chuveiro elétrico instalado na residência, considerado uma das principais cargas de risco em ambientes domésticos. Nessa etapa, foram realizadas medições de tensão de toque sob diferentes condições de aterramento, possibilitando a avaliação prática dos riscos associados a configurações inadequadas ou inexistentes de sistemas de proteção.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados, Imagem 31, nos experimentos foram:

Imagem 31 – Materiais utilizados.



Fonte: o autor.

- Multímetro Minipa ET-1002 com categoria de segurança CAT I 600 V, resolução de 0,1 V (faixa de 200 V) e 1 V (faixa de 600 V), precisão de $\pm(1,2\%$ da leitura + 10 dígitos) e erro instrumental correspondente à especificação de precisão do fabricante, não sendo informada a incerteza de medição pelo fabricante.

- Multímetro Alicate DT-266 com categoria de segurança CAT II 1000 V, resolução de 1 V para medições de tensão alternada, precisão de $\pm(1\%$ da leitura + 5 dígitos) e erro instrumental correspondente à especificação de precisão do fabricante, não sendo informada a incerteza de medição no manual técnico.

- Interruptor Diferencial Residual (IDR) Soprano, 40A, bipolar, 30mA;
- Conector de porcelana;
- Condutores preto e azul de 6mm²;
- Condutores preto e azul de 0,5mm²
- Alicate de corte;
- Fita isolante;
- Chave Philips;
- Lâmpada incandescente de 15W e 3,24k Ω ;
- Lâmpada incandescente de 40W e 1,21k Ω ;
- Plafon;
- 1 chuveiro.

3.2.1 Especificações técnicas do chuveiro utilizado

Para a execução dos procedimentos experimentais descritos nos três cenários, foi utilizado o modelo de chuveiro Lorenzetti Loren Shower, conforme apresentado na Imagem 32 (a), cujas especificações elétricas encontram-se detalhadas em sua placa de identificação na Imagem 32(b), e para fins de compreensão do funcionamento do equipamento ao longo dos ensaios, a sua construção interna, apresentada na Imagem 33 (a) e (b).

Imagem 32 – Chuveiro Lorenzetti Loren Shower e sua especificação.

(a)



(b)



Fonte: O autor.

Imagem 33 – Construção interna chuveiro Lorenzetti Loren Shower.

(a)



(b)



Fonte: Lorenzetti e o autor.

3.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.3.1 Identificação do tipo de aterramento

Inicialmente, foi realizada a caracterização da instalação elétrica, abrangendo a análise do sistema desde o padrão de entrada da concessionária até o quadro de distribuição da edificação, com o objetivo de identificar a configuração do sistema de aterramento conforme os critérios estabelecidos pela NBR 5410.

O presente estudo foi realizado em uma edificação residencial denominada Casa 1, inserida em um terreno que abriga três unidades consumidoras independentes (Casas 1, 2 e 3), atendidas por um único padrão de entrada fornecido

pela concessionária de energia elétrica CELESC. O sistema de medição é composto por um conjunto do tipo “kit postinho”, contendo três medidores individuais, a partir dos quais derivam condutores fase e neutro destinados separadamente à cada residência.

A identificação do sistema de aterramento foi conduzida por meio de inspeção visual da instalação elétrica, associada ao registro fotográfico dos elementos relevantes ao sistema de alimentação e proteção.

Inicialmente, foi realizada a inspeção do padrão de entrada da concessionária, com o objetivo de verificar a existência de aterramento no ponto de entrega, por meio da identificação da haste de aterramento associada ao sistema, bem como da análise da configuração dos condutores de fase e neutro destinados às unidades consumidoras.

Em seguida, procedeu-se à verificação da existência de eletrodos de aterramento adicionais no interior do terreno, por meio da inspeção de caixas de passagem, buscando identificar a presença de sistemas de aterramento independentes associados às residências.

Na sequência, foi realizada a inspeção do quadro de distribuição da Casa 1, com foco na análise da disposição dos barramentos de neutro e de proteção, observando-se a existência ou não de interligação entre esses condutores no interior da instalação.

Durante todas as etapas, foram realizados registros fotográficos dos elementos analisados, incluindo o padrão de entrada, os eletrodos de aterramento e o quadro de distribuição, de modo a documentar as condições observadas e subsidiar a análise comparativa com os esquemas de aterramento definidos na NBR 5410.

3.3.2 Apresentação das etapas do experimento no chuveiro elétrico

Nesta etapa, os ensaios foram estruturados em três cenários distintos, apresentados no Quadro 3, com o propósito de reproduzir as condições verificadas na residência em estudo e possibilitar a avaliação prática dos riscos de choque elétrico decorrentes de diferentes tipos de aterramentos adotados e da ausência ou da inadequação dos sistemas de proteção.

Quadro 3 – Cenários.

Cenário de Instalação	Característica	Propósito da Análise
Cenário 1: Ausência de Aterramento (com IDR)	Instalação do chuveiro com apenas fase, neutro e sem aterramento	Medição de Tensão de Contato (V_c) x tensão fantasma
Cenário 2 - parte 1: PE do chuveiro elétrico conectado ao Neutro (sem IDR), aterramento TN-C	Instalação não adequada a norma, onde o PE está conectado ao neutro depois do ponto de entrada de energia da edificação.	Medição de Tensão de Contato (V_c) x tensão fantasma
Cenário 2 - parte 2: ausência de continuidade do cabo PEN	Instalação com apenas o fio de fase e a junção do condutor de aterramento do chuveiro com o neutro	Medição de Tensão de Contato indireto.
Cenário 3: Aterramento TT (com IDR)	Instalação com PE (Condutor de Proteção) ligado ao eletrodo de terra dedicado.	Servir como referencial de segurança conforme a NBR 5410.

Fonte: o autor.

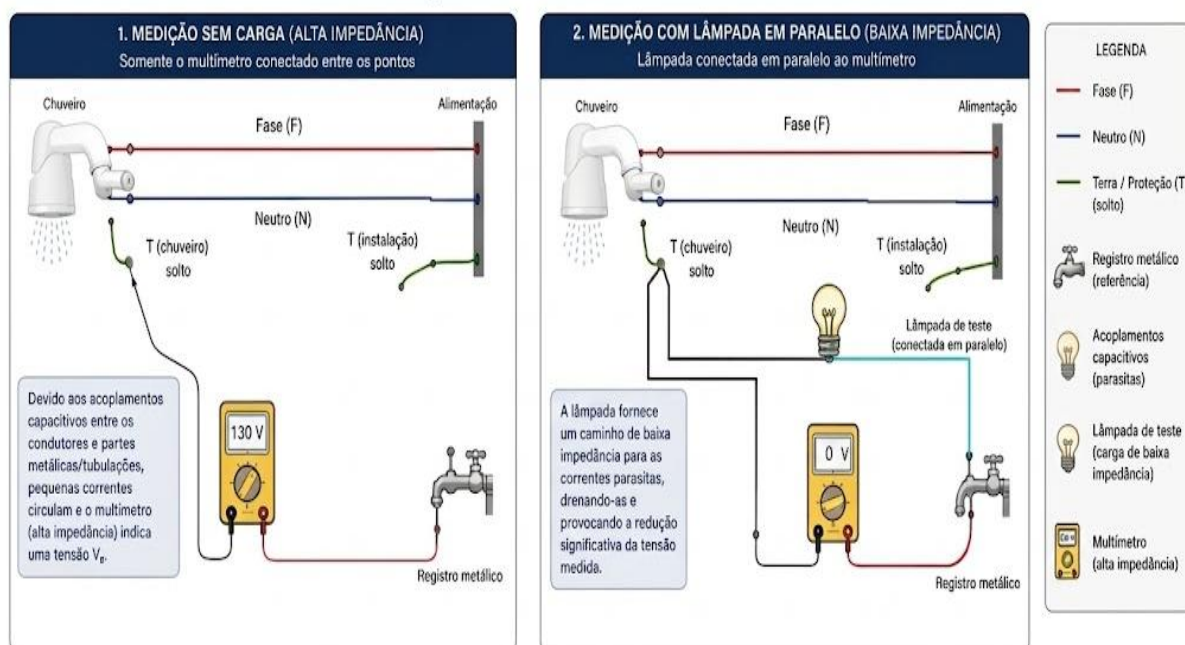
Os experimentos foram realizados com base em três cenários, seguindo uma metodologia estruturada em etapas. Na primeira etapa, foi identificar o modelo de aterramento encontrado na edificação.

Na segunda etapa, foram realizadas medições da tensão de toque, bem como das tensões de contato direto e indireto, na presença do dispositivo interruptor diferencial residual (IDR) nos cenários 1 e 3. Essas medições foram conduzidas em dois regimes de operação: temperatura máxima (temp. máx.) e temperatura mínima (temp. mín.) para os cenários 1, 2 (parte 1) e 3, todos com registro aberto. Foi medido em temperaturas diferentes pois a corrente elétrica varia de acordo com a temperatura. No cenário 2 (parte 2) pela falta de continuidade do condutor PEN não é possível realizar mudança de temperatura.

Por fim, na terceira etapa, foram realizadas medições da tensão de contato com uma lâmpada conectada em paralelo aos pontos de medição, atuando como carga de baixa impedância. O objetivo desse procedimento foi distinguir tensões fantasma de tensões efetivamente associadas à corrente de fuga no chuveiro elétrico e simular uma situação de choque real por consequência de um aterramento proibido pela norma, no caso, do TN-C após o quadro de distribuição da edificação. Para isso, compararam-se os valores obtidos com e sem a aplicação da carga, observando-se a variação da tensão medida. A conexão da lâmpada promove a redução da impedância equivalente do circuito, o que tende a atenuar ou eliminar tensões induzidas, possibilitando a identificação de tensões efetivamente presentes no sistema. A

Imagem 34 ilustra o arranjo experimental onde exemplifica a medição do condutor terra do chuveiro com o registro, sem e com carga paralela, em uma instalação sem aterramento conforme cenário 1.

Imagem 34 – Identificação de tensão fantasma com lâmpada em paralelo



Fonte: Elaboração própria com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT, OpenAI).

3.3.3 Pontos de medição chuveiro elétrico

A medição da tensão de toque foi realizada para quantificar o risco de choque elétrico em diferentes cenários de aterramento. Para garantir a precisão dos dados e simular condições reais de falha, evidencia-se os seguintes pontos de medição:

- F (Fase): Condutor energizado de alimentação do chuveiro.
- N (Neutro): Condutor de retorno do circuito.
- $T_{instalação}$ (Terra - instalação): Condutor de proteção da edificação.
- $T_{chuveiro}$ (terra chuveiro): Condutor de potencial da carcaça/água.
- R_f (Registro Frontal): Face externa do registro (ponto de contato do usuário).
- R_t (Registro Traseiro): Parte posterior do registro, em contato com a estrutura da parede/hidráulica (ponto de contato do registro).

A análise experimental baseou-se na variação da configuração de aterramento do chuveiro. As variáveis independentes foram a corrente nominal da carga (A) e a

configuração elétrica adotada para o condutor de proteção do chuveiro ($T_{chuveiro}$), compreendendo as seguintes condições:

- $T_{chuveiro}$ flutuante, sem conexão com o restante da instalação;
- $T_{chuveiro}$ conectado ao neutro, formando um condutor PEN;
- Condutor PEN interrompido;
- $T_{chuveiro}$ conectado ao sistema de aterramento da edificação.

As variáveis dependentes corresponderam aos potenciais elétricos observados nos pontos frontal (R_f) e traseiro (R_t) do registro, bem como nos condutores associados ao chuveiro, de acordo com a condição de ensaio analisada.

As medições foram selecionadas de forma específica para cada cenário experimental, buscando identificar a origem dos potenciais observados e sua relação com o risco de contato indireto. Nos ensaios em que o condutor de proteção do chuveiro encontrava-se flutuante, priorizou-se a avaliação da diferença de potencial entre $T_{chuveiro}$ e os pontos R_f e R_t , permitindo investigar a influência do acoplamento capacitivo e a transferência de potencial para as partes acessíveis ao usuário.

Nos ensaios envolvendo a configuração PEN e sua interrupção, as medições entre o conjunto ($N + T$) e os pontos R_f e R_t foram utilizadas para quantificar as tensões de contato associadas à elevação de potencial do condutor combinado. Complementarmente, as medições entre $T_{instalação}$ e os pontos R_f e R_t permitiram verificar o grau de equipotencialização entre o registro e o sistema de aterramento da instalação.

Por fim, nos ensaios em que o condutor de proteção do chuveiro foi conectado ao sistema de aterramento da edificação, foram realizadas medições entre $T_{chuveiro}$, neutro, fase e os pontos R_f e R_t , com o objetivo de avaliar a distribuição de potenciais no sistema e verificar a eficácia da conexão de proteção na mitigação das tensões de contato.

3.3.4 Para a medição

3.3.4.1 Caracterização de alta vs baixa impedância

Para cada ponto de medição, a coleta de dados foi realizada em dois estágios:

1. O primeiro estágio, de Alta Impedância (Medição Direta): Realizou-se a leitura inicial utilizando apenas o multímetro digital em modo V_{CA} . Este valor identifica o potencial presente no ponto de contato, que pode ser originado tanto por indução (tensões fantasmas) quanto por falhas de isolamento. alta impedância pois a impedância padrão do multímetro digital é de $10\text{ M}\Omega$.
2. Segundo estágio, de Baixa Impedância (Validação sob Carga): Repetiu-se a medição conectando uma lâmpada incandescente de 15 W , $I \cong 0,068\text{ A}$ em 220 V e uma resistência de aproximadamente $R = 3,24\text{ k}\Omega$ em paralelo com as ponteiros do instrumento. Paralelamente ao segundo estágio, no cenário 2, com a simulação do rompimento foi utilizado uma segunda lâmpada, de 40 W , $I \cong 0,18\text{ A}$ e de $R \cong 1,21\text{ k}\Omega$.
 - Classificação como Tensão Fantasma: Se o valor da tensão sofrer uma queda brusca (tendendo a zero), confirma-se que o potencial é decorrente de acoplamento capacitivo sem capacidade de circulação de corrente significativa.
 - Classificação como Fuga de Corrente: Se a tensão permanecer estável ou apresentar queda sob carga, mas não zerando, o fenômeno é caracterizado como uma fuga de corrente real (contato galvânico ou falha de isolamento), indicando que a fonte possui baixa impedância e capacidade de causar choque elétrico.

3.3.4.2 Configuração e montagem dos cenários

Abaixo descrevem-se as variações físicas da instalação para cada ensaio, acompanhadas dos registros da montagem prática:

- Cenário 1 (Imagem 35) – Sistema Sem Aterramento: Configuração com o condutor de proteção do chuveiro desconectado e flutuante.

Imagem 35 – Instalação chuveiro com T_{chuveiro} flutuante.



Fonte: o autor.

- Cenário 2 (Imagem 36, parte 1) – junção $T_{\text{chuveiro}} + N$: O condutor de proteção do equipamento foi feito junto ao neutro no ponto de utilização.

Imagem 36 – Instalação chuveiro terra + neutro.



Fonte: o autor.

- Cenário 2 (Imagem 37, parte 2) – rompimento do cabo PEN (junção $T_{\text{chuveiro}} + N$).

locais contendo banheira ou chuveiro (Situação 2) e nas curvas de efeitos fisiológicos da corrente elétrica no corpo humano apresentadas pela IEC 60479-1. O Quadro 4 sumariza os parâmetros que serão aplicados para avaliar os três cenários de aterramento propostos neste estudo.

Quadro 4 – Parâmetros de classificação para interpretação de grandezas elétricas e riscos associados.

Faixa de Tensão (V_{rms})	Fenômeno Técnico	Impacto na Segurança e Percepção
ALTA IMPEDANCIA (APENAS MULTIMETRO)		
1V a 220V que cai para aproximadamente de 0 pós carga em paralelo	Acoplamento Capacitivo (<i>tensão fantasma</i>)	Tensão sem capacidade de corrente; geralmente não causa choque real.
BAIXA IMPEDÂNCIA (LÂMPADA EM PARALELO)		
> 50V (Baixa Impedância)	Falha Crítica de Isolação	Perigo Imediato: Risco elevado de fibrilação e paralisia muscular.
25V a 50V	Tensão de Contato Perigosa	Alto Risco: Ultrapassa o limite de segurança para ambientes de banho.
5V a 25V	Queda de Tensão no Neutro	Risco Moderado: Choque incômodo que pode causar quedas e acidentes secundários.
0,5V a 5V	Limiar de Percepção Sensorial	Desconforto: Choque perceptível (formigamento) devido à alta sensibilidade em meios aquosos.
0V a 0,5V	Operação Ideal / Equipotencialidade	Seguro: Ausência de diferença de potencial perceptível ou perigosa.

Fonte: o autor.

3.4 PARES DE MEDIÇÃO – CENÁRIOS

Para as medições foram adotados pontos para medição com os multímetros para analisar a diferença de potencial

3.4.1 Cenário 1: sem condutor terra

O objetivo do cenário 1 é medir a flutuação de potencial e o risco de choque em um sistema desprotegido.

- $T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}$: Avalia a diferença de potencial entre o condutor de proteção do chuveiro e o condutor terra real da instalação, permitindo identificar o nível de tensão flutuante presente no fio terra desconectado.
- $T_{chuveiro} \leftrightarrow N$: Avalia a fuga de corrente da resistência para a água em relação ao retorno do circuito.
- $T_{chuveiro} \leftrightarrow R_f / R_t$: Mede a diferença de potencial entre a água do chuveiro (referenciada pelo fio terra inserido no fluxo de água) e o registro metálico, representando a tensão de contato disponível.

3.4.2 Cenário 2 (parte 1): terra(chuveiro) + neutro (tn-c)

O objetivo é provar que usar o neutro como terra eletrifica as massas metálicas devido à carga.

- $T_{instalação} + N \leftrightarrow R_f / R_t$: Mede a tensão de contato entre o registro metálico e o condutor terra de referência da instalação, representando a diferença de potencial efetivamente acessível ao usuário em uma condição de toque simultâneo.
- $T_{instalação} \leftrightarrow T_{chuveiro} + N$: Avalia a diferença de potencial entre o neutro da instalação e o condutor terra de referência, permitindo verificar possíveis elevações de potencial do neutro durante a operação do chuveiro sob carga.

3.4.2.1 Cenário 2 (parte 2): Cabo PEN rompido.

- $PEN_{chuveiro} \leftrightarrow R_f / R_t$: Mede a diferença de potencial entre o conjunto formado pelo neutro e pelo terminal de proteção do chuveiro, após a interrupção deliberada do condutor PEN, e as partes metálicas acessíveis do registro. Essa medição permite avaliar a elevação de potencial do conjunto flutuante do chuveiro e verificar a transferência de potencial para o sistema hidráulico decorrente dos acoplamentos elétricos existentes entre a fase, a resistência de aquecimento, a água e o conjunto neutro-terra do equipamento.

3.4.3 Cenário 3: aterramento TT (NBR 5410)

O objetivo é validar a eficácia do sistema normatizado e a equipotencialidade.

- $T \leftrightarrow N$: Mede a diferença de potencial entre o condutor terra local e o neutro da concessionária (desequilíbrio de rede).
- $T \leftrightarrow F$ Teste de integridade da proteção (deve resultar na tensão total da rede aproximadamente 220V).
- $T \leftrightarrow R_f / R_t$: Teste final de segurança. O valor deve ser 0V, provando que o registro está perfeitamente equipotencializado e seguro para o toque.

2. Uso de Carga Resistiva (Lâmpada Incandescente)

Uma lâmpada incandescente de 15w e de $3,23k\Omega$ foi utilizada em paralelo com os pontos de medição para tensões de contato, servindo a dois propósitos fundamentais:

- Discriminação de Tensão Fantasma;
- Discriminação de possibilidade de fuga de corrente elétrica;
- Teste de Atuação do IDR em caso de fuga de corrente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO ATERRAMENTO

A análise da instalação elétrica foi realizada por meio de inspeção visual e registro fotográfico dos principais elementos do sistema de alimentação e aterramento, com o objetivo de identificar a configuração adotada na edificação. Inicialmente, foi observado o padrão de entrada da concessionária, apresentado na Imagem 39, no qual se verifica a presença de três medidores individuais associados às unidades consumidoras existentes no terreno, bem como a distribuição dos condutores de alimentação a partir desse ponto, sendo a alimentação dos medidores via aérea da Casa 1 à Casa 3.

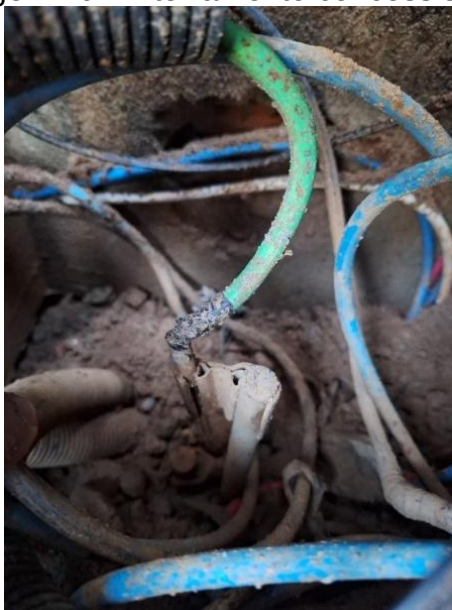
Imagem 39 – Kit postinho para três medidores.



Fonte: o autor.

A Imagem 40 mostra a haste de aterramento localizada na primeira caixa de passagem, associada ao aterramento do neutro no ponto de entrada, conforme diretrizes estabelecidas pela N-3210003.

Imagem 40 – Aterramento concessionária



Fonte: o autor.

Esse eletrodo faz a ligação do neutro à terra na origem da instalação, sendo conectado primeiramente ao barramento da casa 3, Imagem 41, e posteriormente conectado ao barramento dos demais medidores

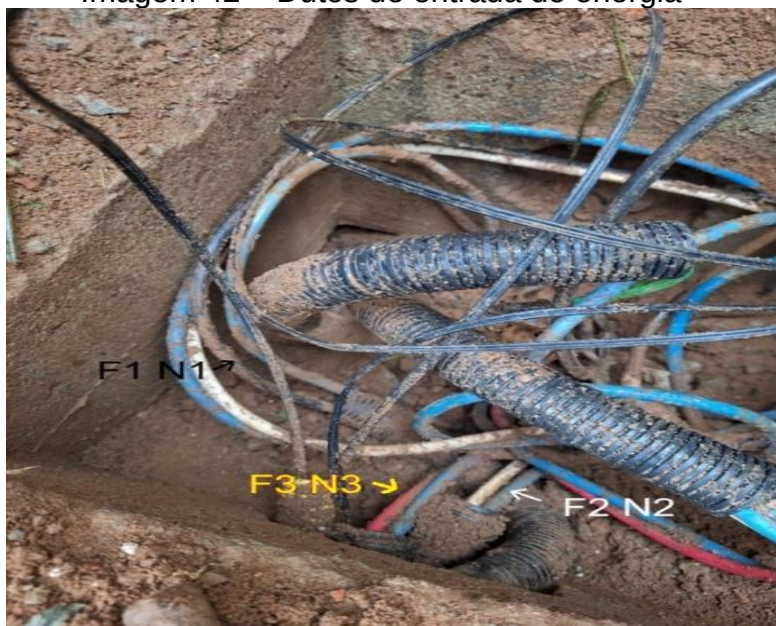
Imagem 41 – Barramento casa 3.



Fonte: o autor.

Em continuidade, a Imagem 42 apresenta os dutos que conduzem os três condutores de fase e os respectivos neutros em direção às unidades consumidoras, evidenciando a separação dos circuitos de alimentação e a distribuição individualizada para cada residência sem a evidência de um condutor terra para edificação, até então considera até esta parte, um aterramento TN-C.

Imagem 42 – Dutos de entrada de energia



Fonte: o autor

Posteriormente, a Imagem 43 mostra na segunda caixa de passagem localizada no interior do terreno, ao lado da edificação, onde se observa a presença de eletrodo/haste de aterramento adicional, também como os condutores de proteção associados às instalações das unidades consumidoras casa 1 (F1 N1), casa 2(F2 N2) e casa 3(F3 N3), indicando a existência de sistema de aterramento independente no interior da propriedade, a partir deste ponto passa a se entender a possibilidade de um aterramento TT.

Imagem 43 – Condutores de aterramento unidos à haste separado do neutro



Fonte: o autor.

Por fim, a Imagem 44 apresenta o quadro de distribuição da Casa 1, onde é possível observar a disposição dos “barramentos” de neutro e de proteção, onde é possível verificar a ausência de interligação entre esses condutores no interior da instalação. Essa característica constitui um dos critérios fundamentais para a classificação dos esquemas de aterramento, conforme estabelecido pela NBR 5410.

Imagem 44 – Quadro de distribuição de circuitos



Fonte: o autor.

A partir da análise conjunta dos elementos apresentados: poste, caixa de passagem 1 e 2 e quadro de distribuição da Casa 1, observa-se que o neutro da rede se encontra aterrado na origem Imagem 40 (a), na mureta do consumidor, enquanto as massas da instalação são associadas a um sistema de aterramento independente, Imagem 43, onde é possível ver a origem dos condutores de aterramento das unidades consumidoras conectados a haste/eletrodo e, por fim, no quadro de distribuição, visto na Imagem 44, a não interligação do neutro com o terra. Essa configuração, quando confrontada com os critérios definidos pela NBR 5410, permite a identificação do sistema de aterramento adotado como do tipo TT, caracterizado pela separação entre o aterramento do sistema de alimentação e o aterramento das massas da instalação elétrica.

4.2 CENÁRIO 1 SEM ATERRAMENTO

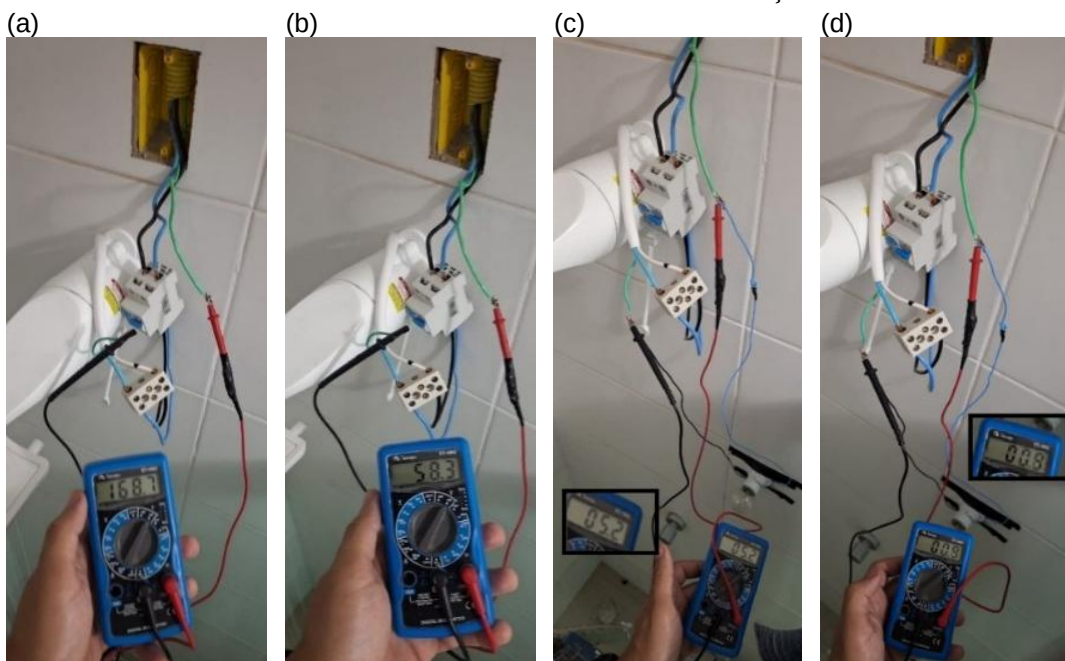
Neste cenário, o condutor de aterramento da instalação foi removido com o objetivo de avaliar a flutuação de potencial do sistema e a presença de tensões de contato capazes de produzir choque elétrico durante a utilização do chuveiro. As medições foram realizadas com registro aberto, utilizando apenas o multímetro, e

posteriormente com a inserção de uma lâmpada como carga de teste, permitindo diferenciar tensões sustentadas por correntes reais daquelas associadas à tensão fantasma.

4.2.1 Medição e análise dos resultados do cenário 1

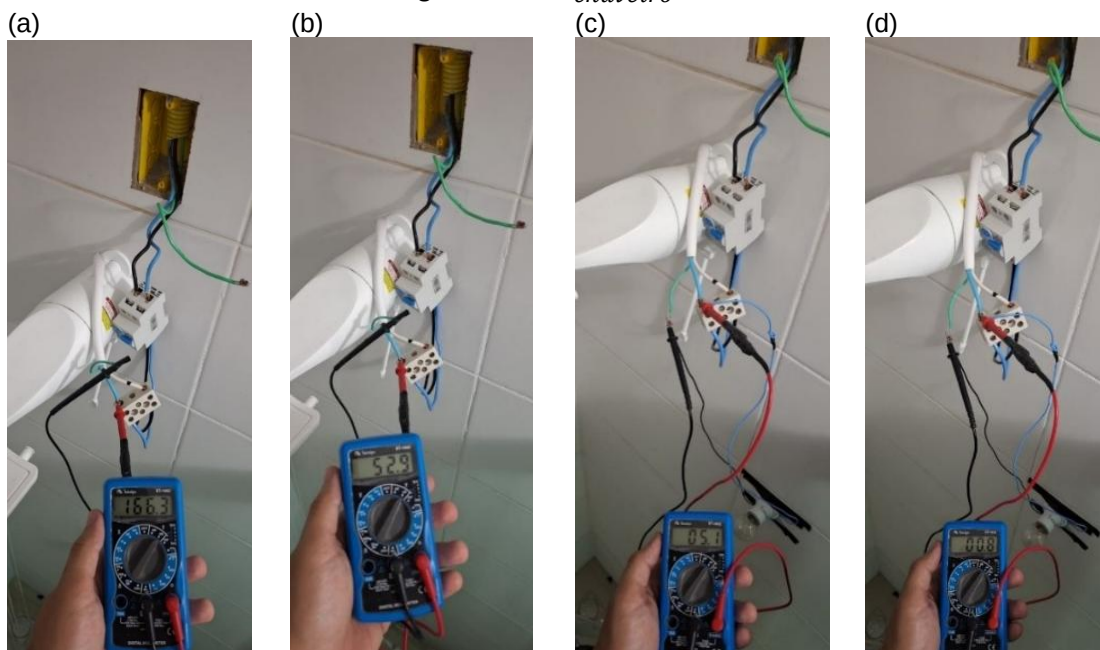
As primeiras medições realizadas foram $T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}$, N , R_f , R_t , sendo elas realizadas nas temperaturas mínima e máxima, tanto sem carga em paralelo nas imagens de itens (a) e (b), quanto com carga em paralelo nas imagens de itens (c) e (d). Os resultados são apresentados nas, respectivamente: Imagem 45, Imagem 46, Imagem 47 e Imagem 48. E seus valores em resumo na Tabela 2.

Imagem 45 – $T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}$.



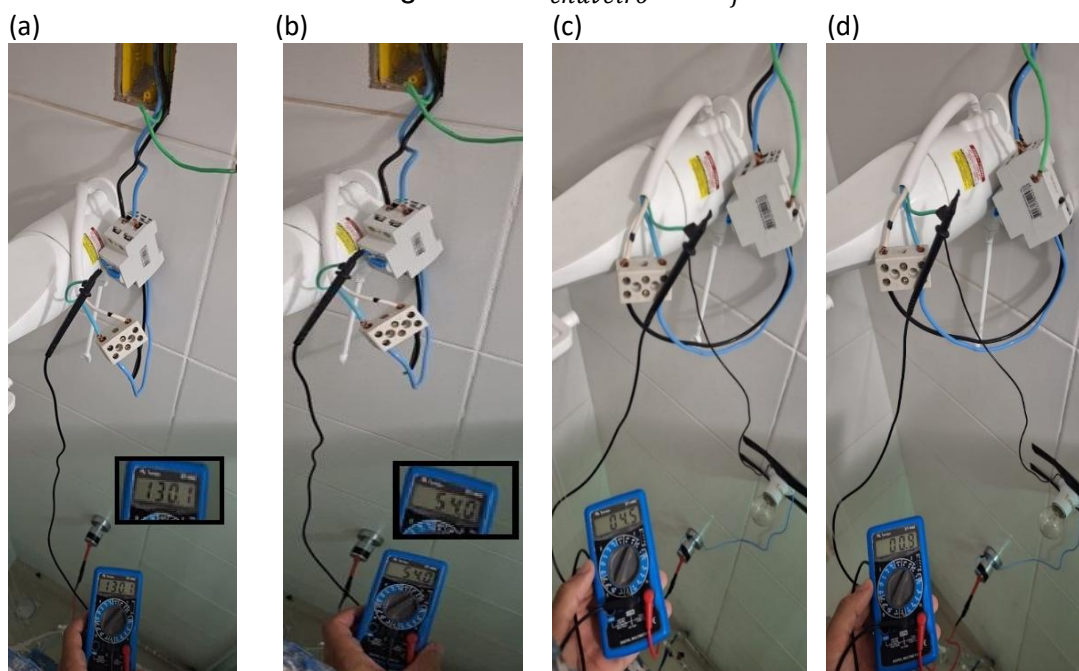
Fonte: o autor.

Imagem 46 – $T_{chuveiro} \leftrightarrow N$.

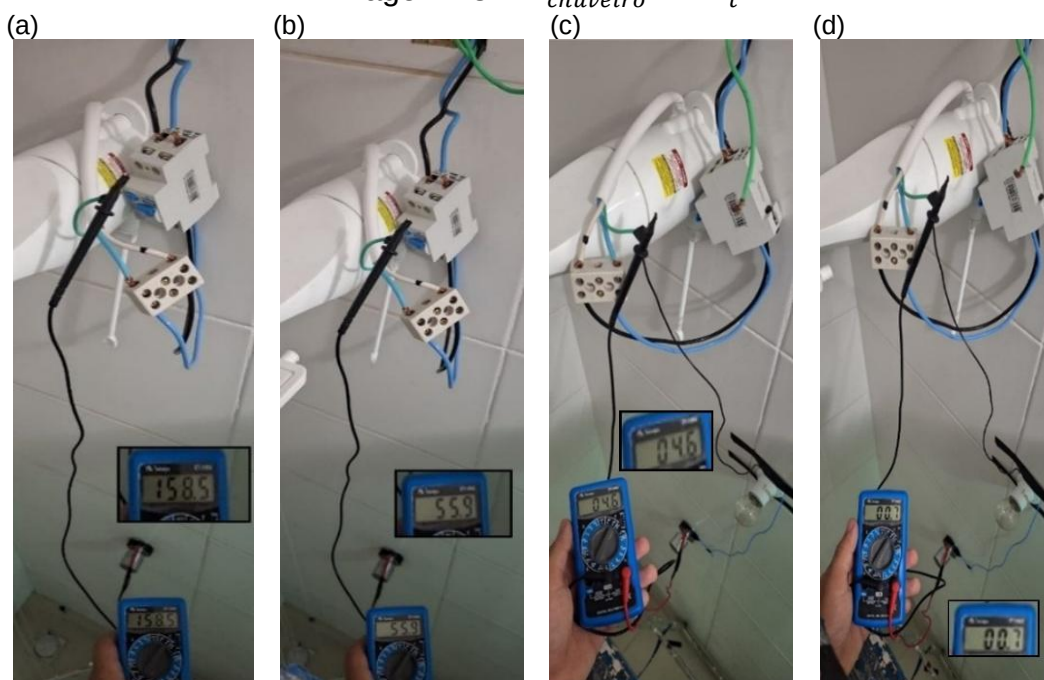


Fonte: o autor.

Imagem 47 – $T_{chuveiro} \leftrightarrow R_f$.



Fonte: o autor.

Imagem 48 – $T_{\text{chuveiro}} \leftrightarrow R_t$.

Fonte: o autor.

Os valores resumem-se na Tabela 2:

Tabela 2 – Medições cenário 1 → $T_{\text{chuveiro}} \leftrightarrow T_{\text{instalação}}, N, R_f, R_t$

CIRCUITO SEM LÂMPADA			CIRCUITO COM LÂMPADA			CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIÇÕES APÓS APLICAÇÃO DA LÂMPADA	IMAGENS
PONTEIRAS	REGISTRO ABERTO		PONTEIRAS	REGISTRO ABERTO			
	TEMP. MÍN.	TEMP. MÁX.		TEMP. MÍN.	TEMP. MÁX.		
T(chuveiro) ↔ T(instalação)	168.7V	58.3V	T(chuveiro) ↔T(instalação)	5.2V	0.9V	predominante fantasma, mas com potencial residual	Imagem 45
T(chuveiro) ↔N	166.3V	52.9	T(chuveiro) ↔N	5.1V	0.8V	Predominante fantasma, mas com potencial residual	Imagem 46
T(chuveiro) ↔ Rf	130.1V	54V	T(chuveiro) ↔ Rf	4.5V	0.9V	potencial residual associado à fuga de corrente	Imagem 47
T(chuveiro) ↔ Rt	158.5V	55.9V	T(chuveiro) ↔ Rt	4.6V	0.7V	potencial residual associado à fuga de corrente	Imagem 48

Fonte: o autor.

No cenário sem condutor de aterramento da instalação, as medições envolvendo o condutor de proteção do chuveiro apresentaram as maiores tensões observadas durante o experimento. Com o registro aberto registrados valores de 168,7 V para o par $T_{\text{chuveiro}} \leftrightarrow T_{\text{instalação}}$, 166,3 V para $T_{\text{chuveiro}} \leftrightarrow N$, 130,1 V para $T_{\text{chuveiro}} \leftrightarrow R_f$ e 158,5 V para $T_{\text{chuveiro}} \leftrightarrow R_t$.

Os resultados demonstram que o condutor de proteção do chuveiro encontrava-se em potencial flutuante, assumindo tensões elevadas em relação aos demais pontos analisados. A magnitude dessas tensões sugere a influência de acoplamentos capacitivos parasitas entre os elementos energizados do circuito e as massas metálicas presentes no sistema, além da possibilidade de correntes de fuga associadas ao próprio equipamento.

Após a aplicação da lâmpada 15w como carga de teste, verificou-se redução significativa das tensões medidas. No par $T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}$, a tensão reduziu de 168,7 V para 5,2 V na temperatura mínima e para 0,9 V na temperatura máxima. Comportamento semelhante foi observado em $T_{chuveiro} \leftrightarrow N$, cujos valores passaram de 166,3 V para 5,1 V e 0,8 V, respectivamente.

Essa redução expressiva indica que parcela significativa da tensão observada estava associada à presença de tensão fantasma. Entretanto, a permanência de tensões residuais após a aplicação da carga demonstra que o fenômeno não pode ser atribuído exclusivamente a esse mecanismo. Os resultados sugerem a existência de uma componente de corrente de fuga capaz de manter parcialmente energizado o condutor de proteção do chuveiro.

Nos pares $T_{chuveiro} \leftrightarrow R_f$ e $T_{chuveiro} \leftrightarrow R_t$, as tensões medidas também apresentaram valores elevados, atingindo 130,1 V e 158,5 V, respectivamente. Com a aplicação da carga, os valores foram reduzidos para aproximadamente 4,5 V e 4,6 V na condição mais crítica. Considerando então a potência da lâmpada de 15w, e de resistência de 3,24k Ω , foi possível obter uma corrente de 1,38mA e como a corrente é menor que a sensibilidade do IDR, que é de 30mA, o IDR não atuou.

Diferentemente do comportamento esperado para uma tensão fantasma pura, as tensões permaneceram mensuráveis mesmo após a inserção da carga de teste, evidenciando a possibilidade de circulação de corrente real entre a água do chuveiro e os registros metálicos. Por esse motivo, esses pares foram classificados como situações de fuga de corrente e gerando o potencial risco de choque elétrico.

Os resultados evidenciam que, na ausência de aterramento, o condutor de proteção do chuveiro permanece sujeito à ação simultânea de tensões fantasmas e correntes de fuga, resultando em diferenças de potencial significativas em relação às partes metálicas acessíveis ao usuário.

4.3 CENÁRIO 2 ATERRAMENTO TERRA(CHUVEIRO)+NEUTRO

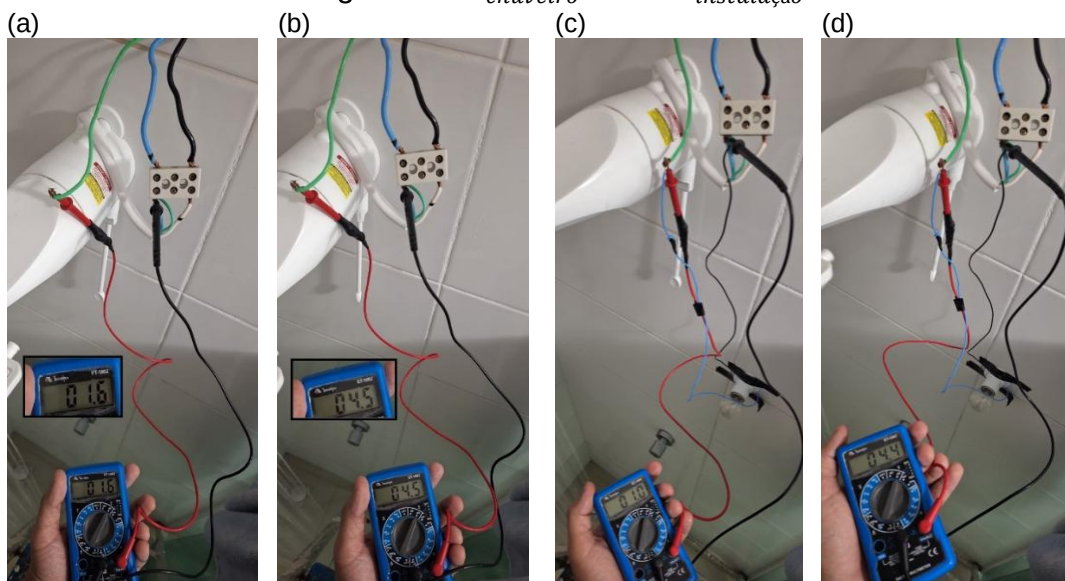
No segundo cenário analisado, na parte 1, o condutor de proteção do chuveiro foi interligado diretamente ao condutor neutro da instalação, configurado um aterramento TN-C. O objetivo deste cenário foi avaliar a redução das tensões de contato e verificar a presença de tensões residuais e possíveis correntes de fuga decorrentes dessa interligação.

Na Parte 2, foi realizado o rompimento intencional do condutor PEN formado pela interligação entre o neutro e o condutor de proteção do chuveiro, simulando uma falha que pode ocorrer em instalações reais. Com isso, o conjunto neutro–terra do chuveiro passou a ficar sem ligação direta com a instalação, permitindo avaliar a tensão de contato indireto entre o chuveiro e o registro metálico, bem como verificar a transferência de potencial para as partes acessíveis ao usuário.

4.3.1 Medição e análise dos resultados do cenário 2 (parte 1): condutor de proteção do chuveiro conectado ao neutro da instalação

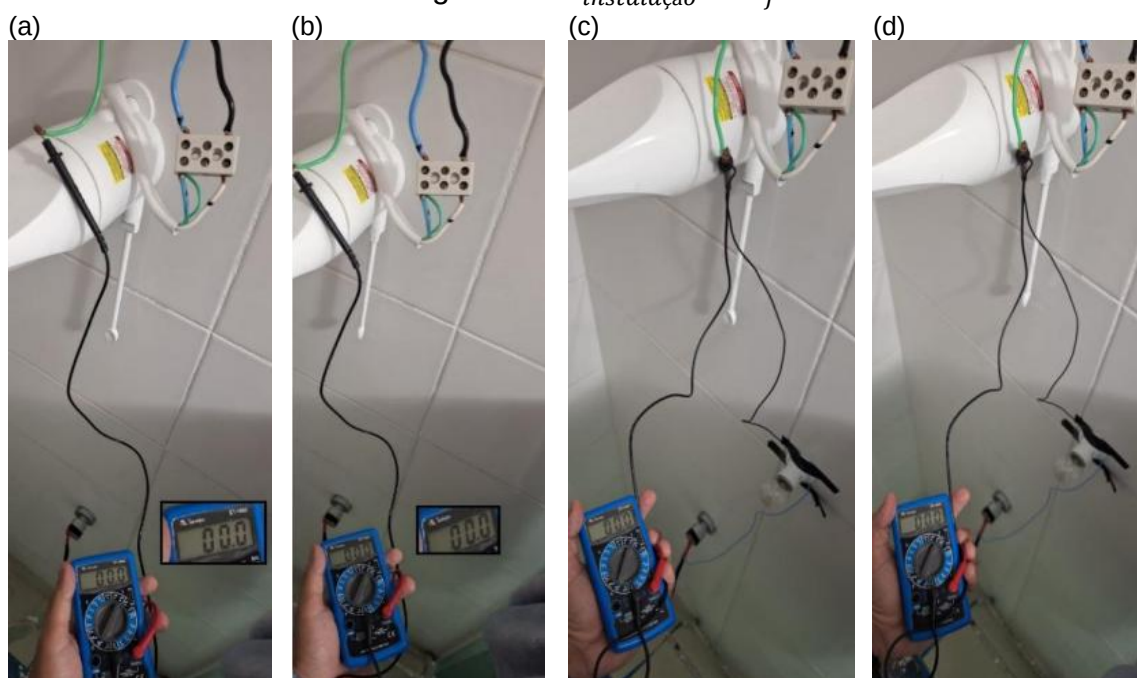
As medições seguiram a seguinte ordem: $T_{(Chuveiro)} + N \leftrightarrow T_{instalação}, R_f$ e R_t .

Imagem 49 – $T_{chuveiro} + N \leftrightarrow T_{instalação}$



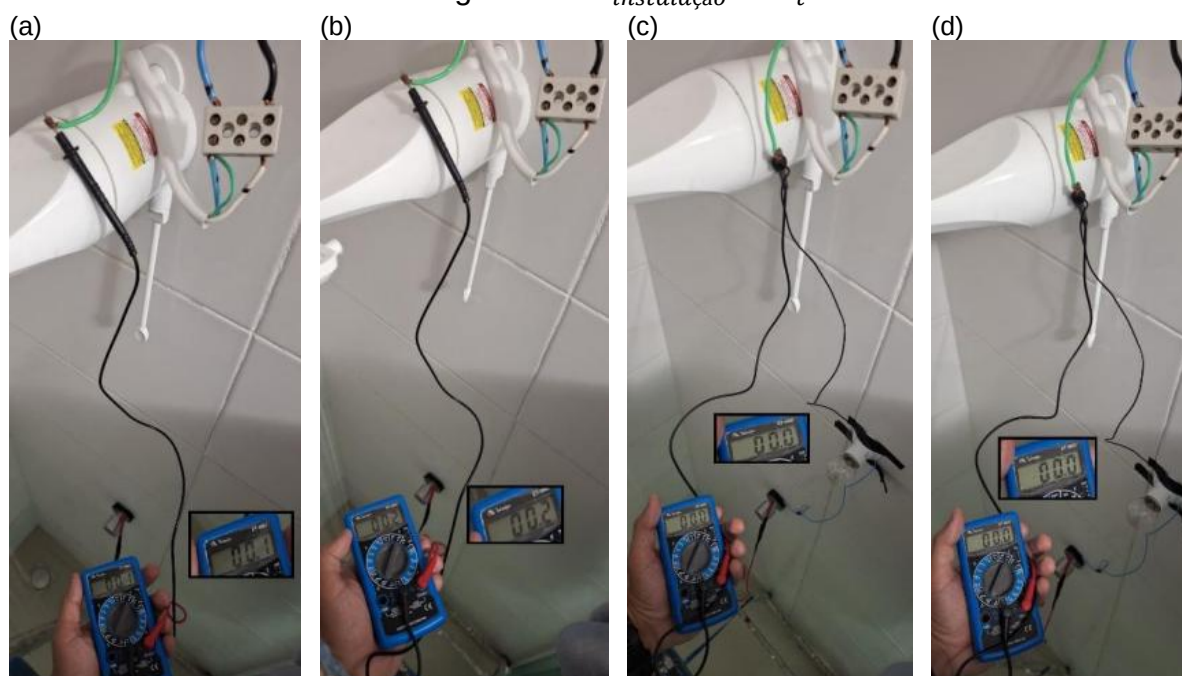
Fonte: o autor.

Imagem 50 – $T_{\text{instalação}} \leftrightarrow R_f$



Fonte: o autor.

Imagem 51 – $T_{\text{instalação}} \leftrightarrow R_t$



Fonte: o autor.

As medições resumem-se na tabela:

Tabela 3 – Medições cenário 2.

CIRCUITO SEM LÂMPADA			CIRCUITO COM LÂMPADA			CLASSIFICAÇÃO O DAS MEDIÇÕES APÓS APLICAÇÃO DA LÂMPADA	IMAGENS
PONTEIRAS	REGISTRO ABERTO		PONTEIRAS	REGISTRO ABERTO			
	TEMP. MÍN.	TEMP. MÁX.		TEMP. MÍN.	TEMP. MÁX.		
N+T(chuveiro) ↔T(instalação)	1.6V	4.5V	N+T(chuveiro) ↔T(instalação)	1V	4.4V	potencial residual sob carga	Imagem 49
N+T(chuveiro) ↔ Rf	0V	0V	T(instalação) ↔ Rf	0V	0V	tensão fantasma	Imagem 50
N+T(chuveiro) ↔ Rt	0.1V	0.2V	T(instalação) ↔ Rt	0V	0V	tensão fantasma	Imagem 51

Fonte: o autor.

Nas medições realizadas sem a aplicação da lâmpada como carga de teste, o par $N + T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}$ apresentou tensões variando entre 1,6 V e 4,5 V. Esses valores indicam que, mesmo com a interligação entre neutro e terra do chuveiro, ainda permaneceu diferença de potencial em relação ao condutor terra de referência da instalação.

Com a aplicação da lâmpada como carga de teste, a medição entre $N + T_{chuveiro} \leftrightarrow T_{instalação}$ permaneceu entre 1 V e 4,4 V, indicando a possibilidade de tensão residual associada à circulação de corrente no neutro ou à existência de pequenas correntes de fuga no sistema.

Considerando então o valor de resistência da lâmpada de 15w de 3,24k, a corrente encontrada corresponde para 1V e 4,4V é de 0,3mA e de 1,3mA.

Embora esse valor esteja abaixo da corrente nominal de atuação de dispositivos IDR de 30 mA, correntes nessa faixa ainda podem ser perceptíveis ao usuário em condições de pele molhada ou contato prolongado.

As medições entre $T_{instalação} \leftrightarrow R_f$ e $T_{instalação} \leftrightarrow R_t$ apresentaram valores nulos ou próximos de zero, comportamento característico de tensões fantasmas ou potenciais sem capacidade significativa de fornecimento de corrente.

Apesar da redução das tensões aparentes, a interligação entre o condutor de proteção e o neutro no ponto de utilização não está em conformidade com a NBR 5410 para sistemas TT, nos quais o condutor de proteção deve possuir aterramento independente. Além disso, essa prática pode mascarar correntes de fuga,

comprometer a atuação adequada do dispositivo IDR e criar falsa sensação de segurança ao usuário.

Conclui-se, portanto, que a conexão entre o condutor terra do chuveiro e o neutro reduz as diferenças de potencial aparentes nas medições, porém não garante proteção efetiva contra choques elétricos e não substitui um sistema de aterramento adequado conforme os requisitos normativos.

4.3.2 Medição e análise dos resultados do cenário 2 (parte 2): rompimento condutor pen

As medições seguiram a seguinte ordem: $PEN_{rompido} \leftrightarrow R_f$ e R_t e posteriormente foram utilizadas duas cargas diferentes em paralelo a esses pontos de medição, uma lâmpada com 15W e uma lâmpada de 40W afim de entender como varia a tensão de toque indireto. Entende-se também que pela ausência do condutor neutro não foi possível alternar a temperatura.

Imagem 52 – Cenário 2 (parte 2) PEN rompido $\leftrightarrow R_f$ e R_t sem carga.

(a)

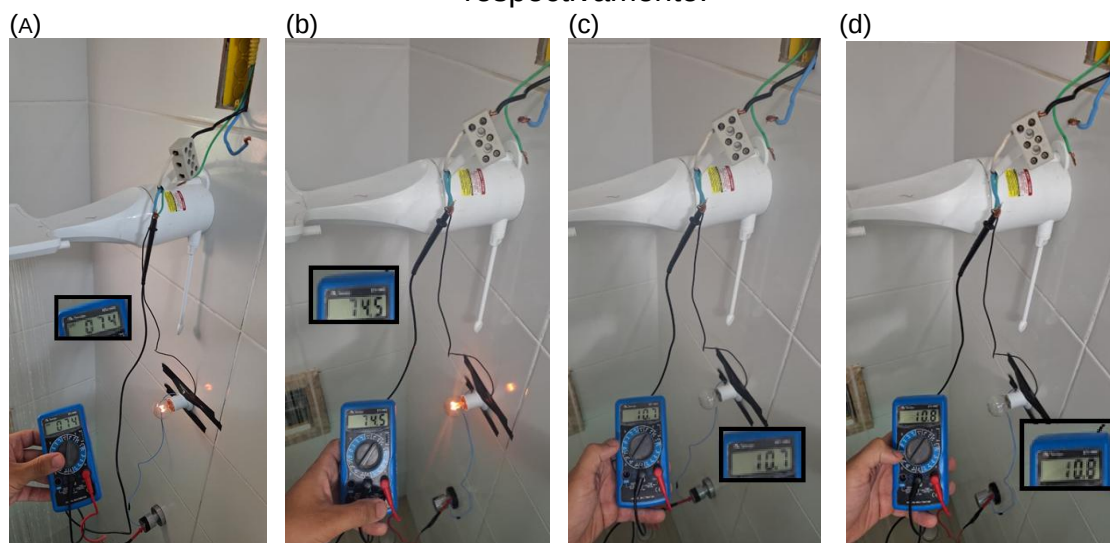


(b)



Fonte: o autor.

Imagem 53 – PEN rompido (parte 2) $\leftrightarrow R_f$ e R_t com carga de 15W e 40W respectivamente.



Fonte: o autor.

Tabela 4 – Cenário 2 (parte 2) → Medição rompimento cabo PEN.

CIRCUITO SEM LÂMPADA		CIRCUITO COM LÂMPADA (15W/40W)			CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIÇÕES APÓS APLICAÇÃO DA LÂMPADA	IMAGENS
PONTEIRAS	REGISTRO ABERTO	PONTEIRAS	REGISTRO ABERTO			
			15w	40w		
N+T(chuveiro) ↔ Rf	211V	N+T ↔ Rf	74V	10.7V	fuga de corrente	Imagem 52
N+T(chuveiro) ↔ Rt	208V	N+T ↔ Rt	74.5V	10.8V	fuga de corrente	Imagem 53

Fonte: o autor.

No rompimento do condutor PEN do chuveiro, foram observadas tensões elevadas entre o conjunto $N_{chuveiro} + T_{chuveiro}$ do chuveiro e os pontos R_f e R_t do registro metálico. Com o registro aberto e o chuveiro em funcionamento, foram registrados valores de 211 V para o par $N_{chuveiro} + T_{chuveiro} \leftrightarrow R_f$ e 208 V para o par $N_{chuveiro} + T_{chuveiro} \leftrightarrow R_t$ com registro aberto.

Esses resultados indicam que, após a interrupção do condutor PEN, o conjunto $N_{chuveiro} + T_{chuveiro}$ do chuveiro passou a assumir um potencial elevado em relação às partes metálicas acessíveis ao usuário.

Com a aplicação de uma lâmpada de 15 W como carga de teste, as tensões foram reduzidas para 74 V e 74,5 V nos pares $N_{chuveiro} + T_{chuveiro} \leftrightarrow R_f$ e $N_{chuveiro} + T_{chuveiro} \leftrightarrow R_t$, respectivamente. Considerando uma resistência equivalente

aproximada de 3,24 k Ω para essa carga, estima-se uma corrente da ordem de 23 mA durante o ensaio.

Posteriormente, a carga foi substituída por uma lâmpada de 40 W, cuja resistência equivalente é de aproximadamente 1,21 k Ω . Nessa condição, as tensões reduziram para 10,7 V e 10,8 V, correspondendo a correntes próximas de 9 mA.

A redução observada após a aplicação das cargas demonstra que parte significativa da tensão medida em circuito aberto estava associada a um potencial de elevada impedância, característico de tensões induzidas e acoplamentos capacitivos. Entretanto, a permanência de tensões mensuráveis após a inserção das cargas e o acendimento da lâmpada de 15 W evidenciam fuga clara de corrente.

Os resultados demonstram que o circuito foi capaz de fornecer corrente para cargas com impedâncias da mesma ordem de grandeza das encontradas em situações reais de contato humano. Conforme apresentado na Tabela 1, a resistência corporal pode variar aproximadamente entre 4000 Ω para pele seca e 500 Ω , para pele imersa em água, dependendo das condições de contato, umidade, área de contato e presença de contaminantes. Dessa forma, as lâmpadas utilizadas não foram empregadas como simuladores diretos do corpo humano, mas como cargas de impedância conhecida destinadas a avaliar a capacidade do circuito em sustentar tensão, fornecer corrente e de discriminar a tensão fantasma.

Embora não seja possível afirmar diretamente qual corrente circularia através do corpo humano em uma situação real, os resultados evidenciam que o conjunto $N_{chuveiro} + T_{chuveiro}$ do chuveiro foi capaz de fornecer correntes da ordem de miliampères para cargas comparáveis às impedâncias corporais normalmente encontradas durante o uso do chuveiro. Considerando que correntes nessa faixa podem ser percebidas pelo organismo humano e provocar desconforto, contração da mão e do antebraço, reações involuntárias ou até mesmo aumento de pressão arterial, os pares $N_{chuveiro} + T_{chuveiro} \leftrightarrow R_f$ e $N_{chuveiro} + T_{chuveiro} \leftrightarrow R_t$ foram classificados como situações de potencial risco de choque elétrico.

Os resultados evidenciam que o rompimento do condutor PEN pode promover a elevação significativa do potencial do conjunto $N_{chuveiro} + T_{chuveiro}$ do chuveiro em relação ao registro metálico, criando condições favoráveis para a transferência de potencial às partes acessíveis ao usuário, especialmente durante a utilização do chuveiro com fluxo de água.

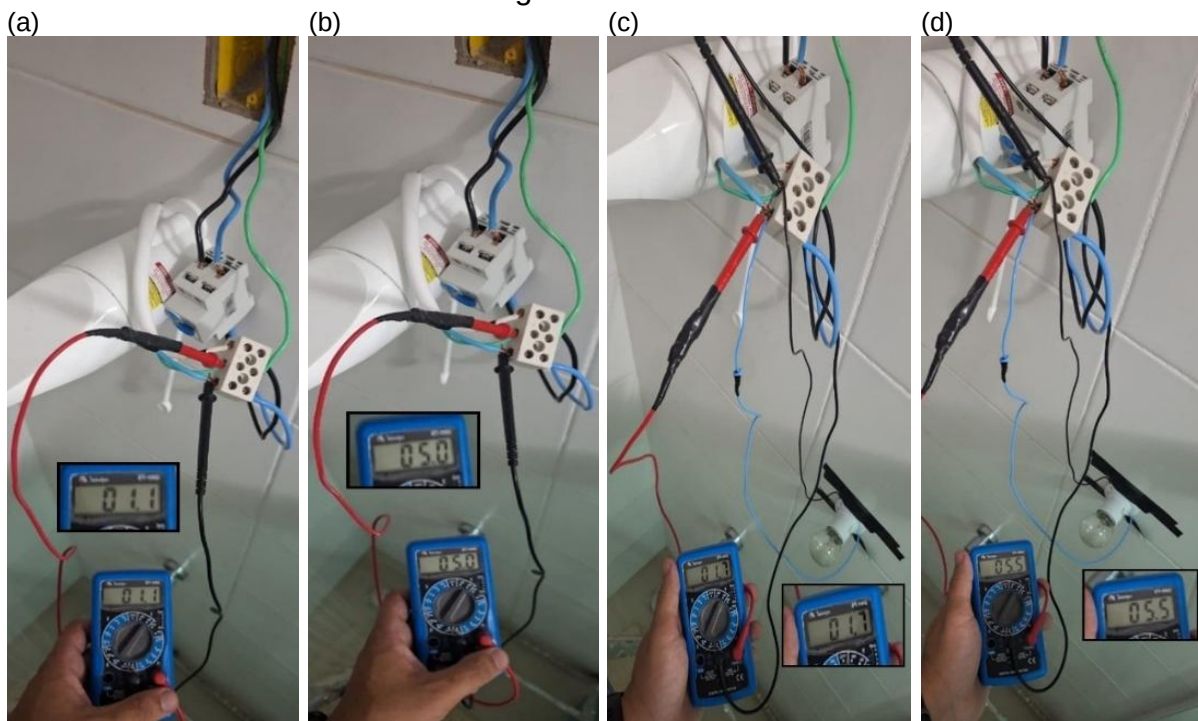
4.4 CENÁRIO 3 ATERRAMENTO TT

No terceiro cenário analisado, foi implementado um sistema de aterramento TT conforme os requisitos da NBR 5410, no qual o condutor de proteção da instalação encontra-se conectado a um eletrodo de aterramento independente do neutro da concessionária. Essa configuração proporciona uma referência de potencial mais estável e segura para as massas metálicas, além de favorecer a atuação do IDR em caso de fuga de corrente.

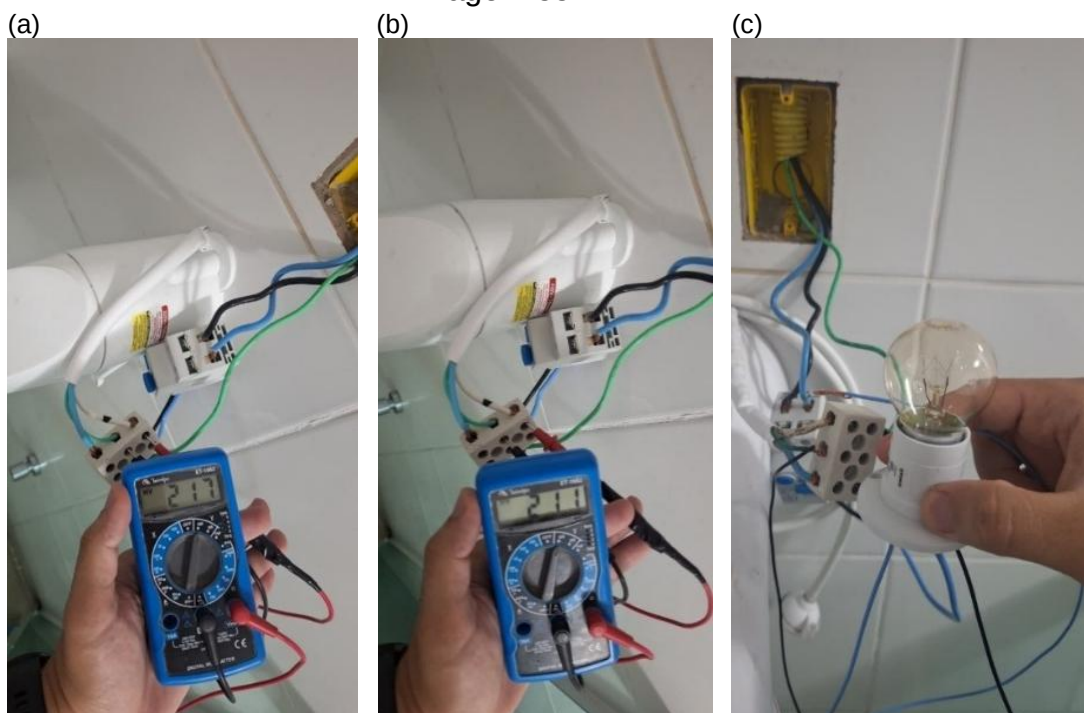
4.4.1 Medição e análise dos resultados – cenário 3: sistema de aterramento tt conforme a NBR 5410

As medições foram realizadas na seguinte ordem: $T \leftrightarrow N, F, R_f, R_t$ em temperaturas mínima e máxima, sem e com carga de 15w em paralelo. Como mostra as imagens respectivamente: Imagem 54, Imagem 55, Imagem 56 e Imagem 57. Com valores resumidos na Tabela 5.

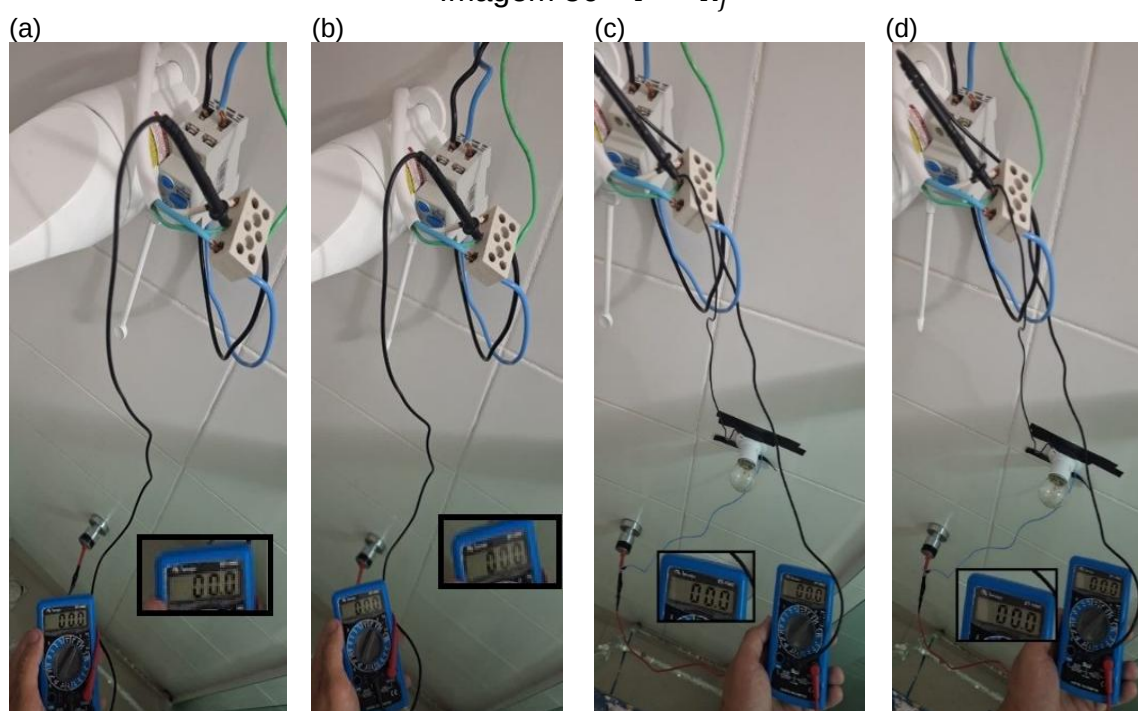
Imagem 54 – $T \leftrightarrow N$



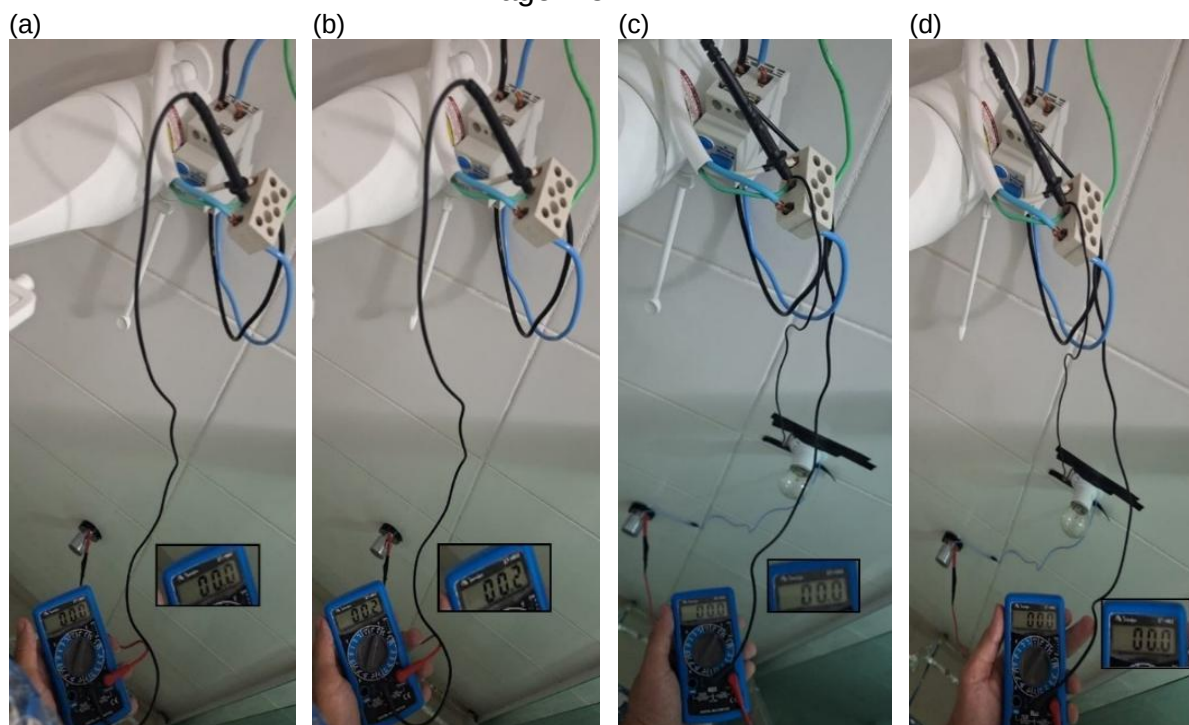
Fonte: o autor.

Imagem 55 – $T \leftrightarrow F$ 

Fonte: o autor.

Imagem 56 – $T \leftrightarrow R_f$ 

Fonte: o autor.

Imagem 57 – $T \leftrightarrow R$ 

Fonte: o autor.

Para o cenário 3 os dados adquiridos estão na Tabela 5 :

Tabela 5 – Medições cenário 3 → Aterramento TT NBR5410

CIRCUITO SEM LÂMPADA			CIRCUITO COM LÂMPADA			CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIÇÕES APÓS APLICAÇÃO DA LÂMPADA	IMAGENS
PONTEIRAS	TENSÃO COM REGISTRO ABERTO		PONTEIRAS	TENSÃO COM REGISTRO ABERTO			
	TEMP. MÍN.	TEMP. MÁX.		TEMP. MÍN.	TEMP. MÁX.		
T ↔ N	1.1V	5V	T ↔ N	1.7V	5.5V	Potencial residual sob carga	Imagem 54
T ↔ F	217V	211V	T ↔ F	IDR atuou	IDR atuou	Fuga de corrente	Imagem 55
T↔Rf	0V	0V	T↔Rf	0V	0V	Sem potencial de falha	Imagem 56
T↔Rt	0V	0,2V	T↔Rt	0V	0V	Tensão fantasma	Imagem 57

Fonte: o autor.

As medições entre $T \leftrightarrow R_f$ e $T \leftrightarrow R_t$ apresentaram valores nulos ou próximos de zero tanto sem carga quanto com carga, variando entre 0 V e 0,2 V. Esses resultados indicam que as partes metálicas acessíveis permaneceram praticamente no mesmo potencial do sistema de aterramento, reduzindo significativamente a

possibilidade de circulação de corrente elétrica pelo corpo do usuário em condições normais de contato.

A medição entre $T \leftrightarrow N$ apresentou valores entre 1,1 V e 5 V sem carga, e entre 1,7 V e 5,5 V com carga. A permanência dessa diferença de potencial mesmo após a aplicação da carga indica a existência de pequena elevação de potencial no condutor neutro, associada à circulação de corrente no circuito e à impedância natural dos condutores da instalação elétrica.

A medição entre $T \leftrightarrow F$ apresentou valores entre 211 V e 217 V sem a aplicação da lâmpada, valores compatíveis com a tensão nominal da rede elétrica. Essa medição demonstra que o sistema de aterramento permaneceu referenciado adequadamente em relação ao condutor fase.

Quando aplicada a lâmpada de teste de 15 W no par $T \leftrightarrow F$, ocorreu a atuação imediata do IDR. Considerando a resistência aproximada da lâmpada de 3,24 k Ω , a corrente elétrica estabelecida no circuito foi da ordem de 68 mA. Esse valor é superior à corrente nominal de atuação do IDR de 30 mA, motivo pelo qual ocorreu o desligamento instantâneo do circuito.

A aplicação da lâmpada estabeleceu um caminho real de circulação de corrente entre a fase e o sistema de aterramento. Como parte dessa corrente não retornou pelo condutor neutro, o IDR identificou o desequilíbrio entre as correntes da fase e do neutro, realizando a interrupção automática da alimentação elétrica. Esse comportamento comprova a existência de um caminho efetivo para o escoamento de correntes de fuga através do condutor de proteção e do eletrodo de aterramento, validando a eficiência do sistema TT na proteção contra choques elétricos.

De forma geral, os resultados demonstram que a adoção do sistema TT promoveu:

- Redução significativa das tensões de toque;
- Equipotencialização das massas metálicas;
- Escoamento eficiente de correntes de fuga;
- Atuação adequada do IDR.

Conclui-se, portanto, que o aterramento TT apresentou desempenho superior nos cenários avaliados. O condutor de proteção conectado ao eletrodo independente manteve as partes metálicas acessíveis no mesmo potencial do solo, razão pela qual as tensões de toque em Rf e Rt foram iguais a zero, forneceu o caminho de baixa impedância necessário para que a corrente de falta atingisse os 68 mA e permitiu a

atuação imediata do IDR, e drenou continuamente as cargas capacitivas parasitas que, na ausência de aterramento, sustentavam tensões de até 168,7 V nas partes acessíveis do sistema. O par TT e IDR mostrou-se necessário porque cada elemento supriu a limitação do outro: o aterramento criou o caminho de falta e o IDR interrompeu o circuito antes que correntes perigosas atingissem o usuário.

Os resultados obtidos apresentam relação direta com os requisitos estabelecidos pela NBR 5410. A norma proíbe a utilização do condutor neutro como condutor de proteção nas instalações internas dos consumidores e estabelece a obrigatoriedade do uso do IDR em sistemas TT. Assim, os cenários 1 e 2 apresentaram condições em desacordo com esses requisitos, enquanto o cenário 3 atendeu integralmente às exigências normativas. A atuação do IDR evidenciou a importância da associação entre o aterramento independente e o dispositivo diferencial-residual, pois o aterramento fornece o caminho para a corrente de falta e o IDR permite a interrupção do circuito em correntes de baixa intensidade, que não seriam detectadas por disjuntores termomagnéticos.

Apesar de ser uma solução segura quando corretamente executado, o aterramento TT apresenta algumas limitações, como a dependência da atuação do IDR para a interrupção de faltas à terra, a sensibilidade às variações da resistência do solo e a necessidade de inspeção e manutenção periódicas. Além disso, seu desempenho pode ser comprometido quando a resistência de aterramento é elevada, o que pode dificultar a proteção adequada contra choques elétricos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No sistema TT, observou-se o comportamento mais seguro entre todos os cenários estudados. O aterramento independente garantiu a eliminação das tensões fantasmas e permitiu a dissipação adequada de eventuais correntes de fuga. Os resultados confirmam que o sistema TT, quando corretamente dimensionado e associado ao IDR, fornece condição significativamente superior de proteção ao usuário, especialmente em equipamentos de elevada potência e que operam em contato direto com a água.

A utilização de lâmpadas incandescentes permitiu avaliar a capacidade do sistema em sustentar tensão e fornecer corrente sob diferentes condições de carga. No cenário sem aterramento, a permanência de tensões residuais após a aplicação da carga evidenciou a existência de transferência de potencial para as partes acessíveis do sistema. Já no cenário em que o condutor de proteção do chuveiro foi interligado ao neutro, formando um condutor PEN, na parte 1, foi possível observar um bom resultado quanto à redução das tensões fantasmas e da fuga de corrente. Entretanto, na parte 2, ao simular o rompimento do PEN, foram observadas correntes da ordem de 23 mA sob uma tensão de aproximadamente 74 V para a lâmpada de 15 W e de aproximadamente 9 mA sob uma tensão de aproximadamente 11 V para a lâmpada de 40 W. Além disso, antes da aplicação das cargas, foram registradas tensões de 208 V e 211 V nas partes acessíveis do sistema, valores próximos à tensão da rede e potencialmente perigosos ao usuário. Esses resultados demonstram que houve significativa transferência de potencial e fuga de corrente para as cargas conectadas.

Embora as lâmpadas utilizadas não representem diretamente o corpo humano, suas resistências equivalentes encontram-se na mesma ordem de grandeza das impedâncias corporais normalmente encontradas em diferentes condições de contato. Dessa forma, os resultados obtidos indicam que situações de falha podem produzir correntes perceptíveis e prejudiciais ao organismo humano, reforçando a importância da adoção de medidas de proteção adequadas. Considerando que a impedância corporal pode variar amplamente em função da umidade da pele, da área de contato, da pressão de toque e das condições ambientais, não é possível associar os valores medidos a uma única corrente de choque para todas as situações. Ainda assim, os ensaios demonstraram a existência de energia suficiente para sustentar correntes da

ordem de miliampères em condições comparáveis às encontradas durante a utilização do chuveiro.

Destaca-se que a configuração baseada em condutor PEN, correspondente ao esquema TN-C, não permite a utilização do IDR no trecho em que as funções de neutro e proteção são combinadas em um único condutor, uma vez que o dispositivo não opera corretamente nessa configuração. Assim, uma eventual interrupção do PEN pode resultar na elevação do potencial das partes acessíveis e tornar a instalação ainda mais vulnerável pela ausência da proteção complementar proporcionada pelo IDR, fazendo com que a integridade desse condutor seja um fator crítico para a segurança da instalação.

Embora o IDR represente a principal medida de proteção contra choques elétricos exigida pela NBR 5410, sua atuação ocorre apenas quando a corrente diferencial ultrapassa seu valor nominal de disparo, normalmente 30 mA. Dessa forma, correntes inferiores a esse limite podem permanecer presentes sem provocar sua atuação. Além disso, a corrente efetivamente circulante depende da impedância do caminho de contato, que pode variar significativamente em função das condições da pele, da umidade, da área de contato e do ambiente.

Os resultados obtidos apresentam relação direta com os requisitos estabelecidos pela NBR 5410. A norma proíbe a utilização do condutor neutro como condutor de proteção nas instalações internas dos consumidores e estabelece a obrigatoriedade do uso do IDR em sistemas TT. Assim, os cenários 1 e 2 apresentaram condições em desacordo com esses requisitos, enquanto o cenário 3 atendeu integralmente às exigências normativas. A atuação do IDR observada nos ensaios evidenciou a importância da associação entre o aterramento independente e o dispositivo diferencial-residual, pois o aterramento fornece o caminho para a corrente de falta e o IDR permite a interrupção do circuito em correntes de baixa intensidade, que não seriam detectadas por disjuntores termomagnéticos.

Entretanto, o estudo apresenta duas limitações. A resistência do eletrodo de aterramento não foi medida durante os ensaios. Além disso, as lâmpadas incandescentes de 15 W e 40 W, utilizadas como cargas de referência, não representam a condição de maior valor crítico de operação.

Conclui-se que os experimentos realizados evidenciam a importância da correta implementação das medidas de proteção previstas na NBR 5410. A utilização do sistema TT, associada ao uso obrigatório do IDR, constitui a solução mais segura

e tecnicamente adequada para instalações residenciais com chuveiros elétricos, ao lado do sistema TN-C-S, reduzindo significativamente os riscos de choque elétrico e proporcionando maior segurança aos usuários.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade deste estudo, recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos que aprofundem a análise dos efeitos do choque elétrico em diferentes condições de falha, utilizando modelos equivalentes do corpo humano para avaliar a relação entre corrente, tempo de exposição e risco ao usuário. Também se sugere a investigação de instalações contendo chuveiros elétricos associados a sistemas fotovoltaicos, considerando a influência dos inversores e das diferentes configurações de aterramento na atuação dos dispositivos de proteção diferencial-residual. Além disso, estudos de campo envolvendo a inspeção de instalações elétricas residenciais podem contribuir para a identificação dos erros mais frequentes de execução e adequação às normas técnicas, permitindo compreender as principais deficiências encontradas na prática e propor medidas de melhoria na segurança das instalações.

REFERÊNCIAS

ABRACOPEL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSCIENTIZAÇÃO PARA OS PERIGOS DA ELETRICIDADE. **Relatório de Acidentes de Origem Elétrica no Brasil – 2024**. Campinas: ABRACOPEL, 2024.

ALL-SUN. EM266 (DT266) **Series: digital clamp meter owner's manual**. Disponível em: https://www.all-sun.com/manual/em266_en.pdf. Acesso em: 8 jul. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12483:2015: **Chuveiros elétricos — Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ARAÚJO, Felipe Silva de; SILVA, Magda dos Santos; ANDRADE, José Antônio Bento. **Chuveiro elétrico: história, funcionamento, instalação e manutenção do equipamento**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 9, n. 8, p. 2470–2484, ago. 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i8.11057.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais**. 23. ed. São Paulo: Érica, 2017.

CELESC – CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A. **Norma Técnica N-321.0001: fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição**. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/padrao-entrada/N3210001-Fornecimento-Energia-Eletrica-Tensao-Secundaria.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CELESC DISTRIBUIÇÃO. **Manual simplificado: padrão de entrada de energia elétrica**. Florianópolis: Celesc, [2026]. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/padrao-entrada/manual-simplificado-padrao-entrada-energia-eletrica.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2026.

CELESC DISTRIBUIÇÃO. N-321.0001: **fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição: edificações individuais e agrupamentos com até 3 unidades de consumo**. Florianópolis: Celesc, dez. 2025. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/padrao-entrada/Normas/N-321.0001.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2026.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. CREDER, H. **Instalações elétricas**. 17. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. E-book.

CRUZ, Eduardo Cesar A.; JUNIOR, Salomão C. **Eletrônica Aplicada**. 2. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2009. E-book. ISBN 9788536505367. Disponível em:

<https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536505367/>. Acesso em: 02 jun. 2026.

ELECTRICAL TECHNOLOGY. DIAC – **Construction, Working, Characteristics and Applications**. 2021. Disponível em:

<https://www.electricaltechnology.org/2021/08/diac.html>. Acesso em: 25 nov. 2025.

FERREIRA, D. A. et al. **Proposta de dispositivo de medição de parâmetros de redes elétricas em tempo real**. Revista Eletrônica de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2024. Disponível em:

<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/15162>. Acesso em: 24 nov. 2025.

FLUKE CORPORATION. **Ghost voltages—phantom readings can lead to the wrong diagnosis**. Application Note. Everett, WA: Fluke Corporation, ago. 2003. Rev. A (2105317 A-ENG-N). Disponível em: https://media.fluke.com/493a7acd-f9e0-48c7-9495-b10600669529_original%20file.pdf?.com. Acesso em: 2 dez. 2025.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Volume 3: eletromagnetismo**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. E-book.

HYDRA CORONA. **ND Eletrônica**. Disponível em: <https://valvulahydra.com.br/>. Acesso em: 24 nov. 2025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC/TS 60479-1:2005+A1:2016: **Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects**. Geneva: IEC, 2016.

KINDERMANN, Geraldo. **Aterramento Elétrico**. 6. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2017.

KINDERMANN, G. **Instalações elétricas**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1995.

LORENZETTI S.A. **Duchas e chuveiros elétricos**. Disponível em: <https://www.lorenzetti.com.br/produtos/duchas-e-chuveiros-eletricos>. Acesso em: 2 jun. 2026.

MINIPA DO BRASIL LTDA. **Manual de instruções: multímetro digital ET-1002**. São Paulo: Minipa do Brasil Ltda., [s. d.]. Disponível em: <https://zjudnyiihqbobdgedgjb.supabase.co/storage/v1/object/public/product-files/et-1002/manual/et-1002-manual.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2026.

NEGRISOLI, M. E. M. **Instalações elétricas**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2022. E-book. ISBN 9786555061499. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555061499/>. Acesso em: 11 abr. 2026.

PROCOBRE – PROGRAMA CASA SEGURA. **Manual de Instalações Elétricas Residenciais**. São Paulo: Procobre, 2020.

PRYSMIAN GROUP. **Manual de Instalações Elétricas Residenciais**. 2. ed. Sorocaba: Prysmian, 2013. E-book.

RODRIGUES, F. **Troca do seletor de temperatura Lorenzetti Advanced Turbo**. YouTube, 2020. Vídeo. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RvKsSgIVIQY>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SANTOS, D. M. dos; KREHER, E. **O choque elétrico e a proteção diferencial residual**. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 23., 2018, Cruz Alta. Anais eletrônicos [...]. Cruz Alta: Unicruz, 2018. p. 1-12. Disponível em: [https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2018/XXIII%20SEMINARIO%20INTERINSTITUCIONAL/Ciencias%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Engenharias/Mostra%20de%20Iniciacao%20Cientifica%20-%20TRABALHO%20COMPLETO/O%20CHOQUE%20EL%3%89TRICO%20E%20A%20PROTE%3%87%3%83O%20DIFERENCIAL%20RESIDUAL%20\(7036\).pdf](https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2018/XXIII%20SEMINARIO%20INTERINSTITUCIONAL/Ciencias%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Engenharias/Mostra%20de%20Iniciacao%20Cientifica%20-%20TRABALHO%20COMPLETO/O%20CHOQUE%20EL%3%89TRICO%20E%20A%20PROTE%3%87%3%83O%20DIFERENCIAL%20RESIDUAL%20(7036).pdf). Acesso em: 11 abr. 2026.

SANTOS, P. M. de S. **O choque no chuveiro elétrico e nas instalações**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

SIEMENS. **Dispositivos DR 5SV, 5SM e 5SU: proteção contra correntes de fuga à terra em instalações elétricas**. São Paulo: Siemens, 2017. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1b21f502-c9f7-4136-bb73-e8d58d6f3c42/catalogodr-junho2017.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SILVA, A. J. A.; FONSECA, J. E.; NUNES, B. M. **Análise físico-química da resistência do chuveiro elétrico através do processo de fadiga e corrosão**. Revista de Engenharia e Tecnologia, [S. l.], v. 12, n. 3, 2020.

VOLTAGE DISTURBANCE. **What is ghost or phantom voltage?** 18 jan. 2023. Disponível em: <https://voltage-disturbance.com/emi-blog/what-is-ghost-or-phantom-voltage/>. Acesso em: 2 dez. 2025.