

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO ITABIRITO
ENGENHARIA ELÉTRICA

Nayra Vivianne Maciel

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS
DE FUGA À TERRA COM UTILIZAÇÃO DO RELÉ SIMOCODE**

Itabirito - MG
2023

NAYRA VIVIANN MACIEL

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS
DE FUGA À TERRA COM UTILIZAÇÃO DO RELÉ SIMOCODE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Avançado Itabirito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dra. Cláudia Rejane de Mesquita

Coorientador: Edmar de Souza Borges

Itabirito - MG
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

M152d Maciel, Nayra Viviann

2023

Desenvolvimento de um sistema de detecção de falhas de fuga à terra com utilização de relé simocode. – 2023.

63 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito, 2023.

Orientadora: Dra. Cláudia Rejane de Mesquita.

1. Detecção de falhas. 2. Sistema elétrico. 3. Relé inteligente. 4. Fuga à terra. 5. Segurança industrial. I. Maciel, Nayra Viviann. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito. III. Título.

CDD 621.31924

Elaborada pela Biblioteca Jarbas Nazareth de Souza – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Itabirito
Diretoria de Ensino
Docentes do Campus Avançado Itabirito
Rua José Benedito, 139 - Bairro Santa Efigênia - CEP 35450-000 - Itabirito - MG
- www.ifmg.edu.br

Ata de Aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso, realizada em 17 de
Novembro de 2023

Nayra Viviann Maciel

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Avançado Itabirito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Título: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS
DE FUGA À TERRA COM UTILIZAÇÃO DO RELÉ SIMOCODE

Aprovado em 17/11/2023 pela banca examinadora:

Profa. Dra. Cláudia Rejane de Mesquita (IFMG)
Orientador (presidente da banca avaliadora)

Prof. Dr. Eduardo José de Araújo (IFMG)
Membro avaliador

Prof. Me. Helvécio de Almeida Júnior (IFMG)
Membro avaliador

Itabirito, 17 de novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Cláudia Rejane de Mesquita, Professora**, em 17/11/2023, às 18:59, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo José de Araújo, Professor**, em 17/11/2023, às 19:19, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Nayra Viviann Maciel, Usuário Externo**, em 23/11/2023, às 04:49, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Helvécio de Almeida Junior, Professor**, em 24/11/2023, às 18:03, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1741803** e o código CRC **2B414EFB**.

Dedico esta monografia aos meus amados pais, Lenice e Gelson, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Neste momento importante da minha jornada acadêmica, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que desempenharam um papel fundamental na realização deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Sem o apoio e contribuições generosas dessas pessoas, esta conquista não teria sido possível.

Aos meus pais, Lenice e Gelson, e minhas irmãs Jeniffer e Maria Eliza, minha gratidão é imensurável. Vocês me apoiaram desde o início da minha jornada acadêmica, me proporcionando um ambiente propício para o aprendizado e sempre acreditando em mim. Seu amor, incentivo e sacrifícios são inestimáveis.

Gostaria de agradecer a Tatiana, Abel, Adriano, Bruno, Lucas e todos os colegas de profissão que me ajudaram nas minhas dúvidas, tornando este projeto possível através da troca de conhecimento e colaboração mútua.

Além disso, gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha orientadora Cláudia Mesquita e ao meu co-orientador Edmar Borges. Seu comprometimento, orientação e expertise na área de engenharia elétrica foram fundamentais para a realização deste trabalho. Suas reuniões regulares, *feedbacks* detalhados e incentivo constante me guiaram ao longo deste processo.

Aos meus amigos e colegas de turma, Paula, Gabriel, Maicon e Kierley, obrigado por compartilharem suas ideias, conhecimento e apoio moral ao longo desta jornada. As discussões estimulantes e a parceria foram essenciais para manter minha motivação e paixão pela pesquisa.

À minha instituição de ensino, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais- Campus avançado Itabirito, agradeço por proporcionar um ambiente acadêmico estimulante, recursos de pesquisa e oportunidades de crescimento. Estou profundamente grata por ter tido a chance de estudar aqui.

Por último, mas não menos importante, gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu marido, Wendel. Seu apoio inabalável, encorajamento constante e amor incondicional foram a força motriz por trás de cada passo desta jornada. Você acreditou em mim quando eu mesma duvidava, e sua presença constante e apoio emocional me deram a confiança necessária para continuar. Este TCC é também um tributo à nossa parceria e à nossa capacidade de enfrentar desafios juntos.

A todos que acreditaram em mim e torceram pelo meu sucesso ao longo desta jornada acadêmica, muito obrigada. Este TCC não é apenas meu trabalho, mas um esforço coletivo de todos aqueles que me apoiaram ao longo do caminho.

Com gratidão,

Nayra Vivian Maciel

“Education is not preparation for life; education is life itself.”

John Dewey

RESUMO

Este projeto se concentra na detecção de falhas elétricas fase-terra em um ambiente industrial, visando melhorar a segurança e a eficiência dos sistemas elétricos de baixa tensão. Foi utilizado o relé inteligente SIMOCODE em conjunto com o módulo de detecção de fuga à terra para aprimorar a identificação de falhas. O projeto incluiu a configuração do SIMOCODE, análise dos circuitos do dispositivo de proteção e a implementação de sinalização visual em caso de falha. Testes foram conduzidos com sucesso, demonstrando a eficácia do sistema na detecção e sinalização de falha, contribuindo para aprimorar a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos industriais.

Palavras-chave: Detecção de Falhas. Sistema Elétrico. Relé Inteligente. Fuga à Terra. Segurança Industrial.

ABSTRACT

This project focuses on the detection of phase-to-ground electrical faults in an industrial environment, aiming to improve the safety and efficiency of low-voltage electrical systems. The intelligent relay SIMOCODE was used in conjunction with the ground fault detection module to enhance fault identification. The project included SIMOCODE configuration, analysis of the protection device circuits, and the implementation of visual signaling in case of a fault. Successful tests were conducted, demonstrating the system's effectiveness in fault detection and signaling, contributing to the enhancement of safety and reliability in industrial electrical systems.

Keywords: Fault Detection. Electrical System. Intelligent Relay. Ground Fault. Industrial Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de aterramento TN-S.	18
Figura 2 – Sistema de aterramento TN-C-S.	19
Figura 3 – Sistema de aterramento TT.	19
Figura 4 – Sistema de aterramento IT.	20
Figura 5 – Um sistema NGR solidamente aterrado com falta à terra.	22
Figura 6 – Sistema de limitação de corrente para neutro de transformadores	24
Figura 7 – Sistema digital de Supervisão e Operação do Equipamento (bRAVO)	25
Figura 8 – Processo atual de identificação do curto fase-terra utilizando sistema de pulso e amperímetro alicate.	31
Figura 9 – Sistema inteligente de pesquisa <i>on-line</i> do local em que ocorre uma falta fase-terra limitada por meio de resistores de alto valor ôhmico (atende com- pletamente a (NR 10, 2019)).	32
Figura 10 – Dispositivos eletrônicos para o monitoramento de sistemas trifásicos. . . .	32
Figura 11 – SIMOCODE Pro V.	33
Figura 12 – Esquemático do SIMOCODE Pro V.	35
Figura 13 – Fluxograma de Implementação do Projeto	41
Figura 14 – Circuito de acionamento e controle do motor.	42
Figura 15 – Centro de Controle de Motores (CCM)	43
Figura 16 – Representação do <i>jumper</i> no circuito.	44
Figura 17 – Parte frontal da gaveta	45
Figura 18 – Motor CA.	48
Figura 19 – Esquema do Princípio Estrutural de Configuração.	50
Figura 20 – Gaveta de acionamento da bomba.	52
Figura 21 – Configuração da unidade <i>Earth fault</i>	53
Figura 22 – configuração da <i>table 2</i>	54
Figura 23 – configuração <i>output 2</i>	55
Figura 24 – Representação do jumper no circuito.	56
Figura 25 – Maleta de Testes - Omicron CMC 356	57
Figura 26 – Esquema de ligação do módulo de detecção de falta à terra.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SEP	Sistema elétricos de potência
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
NGR	Neutral- Grounding Resistor
NR	Norma Regulamentadora
CCM	Centro de controle de motores
CLPs	Controlador Lógico Programável
FBD	Function Block Diagram
LAD	Ladder Diagram
ST	Structured Text
IEDs	Intelligent Electronic Devices
NBR	Norma Técnica brasileira
EMI	Interferências eletromagnéticas
PDM	Product Data Management (Gerenciamento de dados do produto)
CA	Corrente alternada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>15</i>
1.2	Justificativa	15
1.3	Organização do Texto	16
2	FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO E LIMITAÇÃO DE CORRENTE	17
2.1	Esquema de aterramento	17
2.2	Resistores de aterramento	21
2.3	Sistemas modernos de aterramentos resistivos	22
<i>2.3.1</i>	<i>Sistema de limitação de corrente para neutro de transformadores</i>	<i>23</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Autoteste do sistema</i>	<i>25</i>
3	DETECÇÃO DE FALTAS ELÉTRICAS E NORMAS DE SEGURANÇA	27
3.1	Análise de corrente de faltas	27
3.2	Sistemas de proteção e detecção de fuga à terra	28
3.3	Tecnologias utilizadas para a detecção de faltas elétricas	30
3.4	Relé inteligente SIMOCODE	33
3.5	Normas e regulamentos	35
3.6	Estudos no tema	37
3.7	Considerações finais	38
4	METODOLOGIA	40
4.1	Metodologia Experimental	40
4.2	Estudo de caso	41
4.3	Considerações Éticas e Limitações	44
5	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS DE FUGA À TERRA	46
5.1	Seleção do equipamento para a implementação do projeto	46
<i>5.1.1</i>	<i>Seletividade do sistema</i>	<i>47</i>

5.2	Programação e parametrização	49
6	IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	51
6.1	Implementação do projeto	51
6.2	Teste do sistema	53
7	RESULTADOS	58
8	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	59
8.1	Trabalhos Futuros	59
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

No ambiente industrial, um projeto elétrico bem-executado é essencial para o funcionamento eficiente e seguro de uma planta ou instalação. A detecção precoce de falhas elétricas, como por exemplo a ocorrência de fugas à terra, desempenha um papel fundamental na prevenção de acidentes, na proteção dos equipamentos e no funcionamento adequado das instalações.

O estudo (COSTA, 2014a) relata que mais de 85% dos curtos-circuitos nos sistemas industriais ocorrem de fase para terra, e grandes partes dos curtos entre fases resultam da evolução de um primeiro curto à terra, onde existe a formação de arco elétrico.

O artigo (GOMES; PEREIRA; BENDER, 2023) destaca três principais riscos elétricos: o choque elétrico, o fogo de origem elétrica e o arco elétrico. O choque elétrico ocorre quando há contato acidental, direto ou indireto, com partes energizadas, resultando na circulação de corrente pelo corpo humano. Já o fogo de origem elétrica pode ser desencadeado por falhas em equipamentos ou instalações elétricas, gerando calor excessivo e dando origem a incêndios. Por fim, o arco elétrico representa uma descarga elétrica potencial em instalações de alta tensão, capaz de produzir calor, luz e som, além de causar danos físicos e materiais.

Portanto, surge a necessidade de desenvolver soluções inteligentes e eficazes para identificar e sinalizar essas falhas de maneira ágil e confiável. A utilização de relés inteligentes representa um avanço significativo nesse sentido.

Neste contexto, propondo uma solução prática e econômica que faça uso dos dispositivos disponíveis, o presente projeto se concentra na aplicação do relé inteligente SIMOCODE pro V, uma tecnologia de última geração desenvolvida pela Siemens. O SIMOCODE pro V oferece recursos avançados de proteção, diagnóstico e controle para motores elétricos. Seu emprego na detecção de falhas de fuga à terra apresenta um potencial significativo para melhorar a segurança e o desempenho dos sistemas elétricos.

Em virtude deste relé inteligente reunir várias funções de proteção em um único dispositivo, sua aplicação na proteção de motores elétricos está ganhando destaque na indústria. Portanto, o estudo da parametrização de suas funções torna-se um elemento crucial na seletividade de proteção dos equipamentos.

Ao desenvolver uma lógica de programação personalizada para o relé SIMOCODE, será possível identificar e sinalizar falhas de fuga à terra de maneira precisa e imediata nos motores elétricos. Essa solução inteligente permitirá a rápida tomada de medidas corretivas para evitar acidentes e minimizar os impactos nos processos produtivos.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

O objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar um sistema de detecção de falhas de fuga à terra utilizando o relé inteligente SIMOCODE em motores elétricos. O sistema identificará de forma precisa e instantânea as falhas de fuga à terra que ocorrem nesses equipamentos elétricos, permitindo uma resposta rápida para solucionar o problema. Além disso, o trabalho busca promover maior segurança aos operadores, prevenir danos aos equipamentos e assegurar a conformidade com as normas de segurança.

1.1.2 *Objetivos específicos*

Para alcance do objetivo geral, são apresentados os objetivos específicos deste projeto:

- Analisar o funcionamento e as características do relé inteligente SIMOCODE: realizar um estudo aprofundado sobre o relé, compreendendo seus recursos, capacidades e modo de operação;
- Projetar e implementar a lógica de detecção de falhas de fuga à terra;
- Realizar testes que indiquem a eficácia do sistema implementado na detecção de fuga à terra.

1.2 Justificativa

A proposta do projeto é desenvolver um sistema de detecção de falhas de fuga à terra usando o relé inteligente SIMOCODE e aplicá-lo a motores elétricos, onde a detecção de falhas de fuga à terra tem sido um desafio. O sistema existente já identifica e limita a corrente em caso de falta, no entanto, a maior dificuldade reside na precisão da localização do motor que está com a falha. Através da parametrização adequada, o relé inteligente será capaz de identificar exatamente em qual equipamento ocorreu a falha, permitindo uma resposta ágil e direcionada.

Este projeto tem como objetivo não apenas preencher essa lacuna, mas também melhorar significativamente as condições de trabalho em instalações elétricas de baixa tensão. Ao implementar um sistema de detecção de fuga à terra preciso e confiável, busca-se oferecer um ambiente de trabalho mais seguro e protegido para os profissionais envolvidos na operação e manutenção desses sistemas.

Além disso, o projeto aproveita os recursos disponíveis, como o SIMOCODE e o módulo de fuga à terra, para otimizar a detecção de faltas e minimizar os riscos associados. Isso não apenas economiza recursos financeiros em adquirir novos equipamentos, mas também aumenta a eficiência operacional.

Portanto, a justificativa deste projeto não se limita apenas a suprir uma necessidade técnica, mas também aprimorar as condições de trabalho dos profissionais e utilizar de forma inteligente os recursos disponíveis para promover uma operação mais segura e eficiente em sistemas elétricos de baixa tensão.

1.3 Organização do Texto

Ao longo deste trabalho, serão apresentados os detalhes da metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema de detecção de falhas de fuga à terra com o relé SIMOCODE, os resultados esperados e os impactos positivos para a empresa.

No presente capítulo são apresentados a introdução, o contexto, o objetivo e justificativa do trabalho desenvolvido. A fundamentação teórica do trabalho está organizada nos capítulo 2, com a apresentação de conceitos mais abrangentes necessários para a contextualização e entendimento da proposta do trabalho e aos fundamentos do tema "detecção de falhas de fuga à terra" objeto de estudo.

A metodologia do trabalho está descrita no capítulo 3 e aborda a forma como a pesquisa foi conduzida, incluindo a metodologia experimental, o estudo de caso, e também abrange as considerações éticas e limitações envolvidas no processo de pesquisa.

No capítulo 4, "Desenvolvimento do Sistema de Detecção de Falhas de Fuga à Terra", são detalhadas as etapas de seleção do equipamento necessário para a implementação do projeto, incluindo a seletividade do sistema, e a programação e parametrização do sistema.

A implementação do projeto em si é abordada no capítulo 5, onde são descritos os passos tomados para colocar em prática o sistema de detecção de falhas de fuga à terra. Isso inclui a instalação do equipamento e os procedimentos relacionados à implementação.

No capítulo 6, são apresentados os resultados obtidos a partir da implementação do sistema. Isso inclui dados de testes e análises realizadas para avaliação da eficácia do sistema.

Por fim, o capítulo 7, "Conclusão e Trabalhos Futuros", encerra o trabalho, fornecendo uma conclusão geral sobre os resultados alcançados e discutindo possíveis áreas para trabalhos futuros relacionados ao tema da detecção de falhas de fuga à terra.

2 FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO E LIMITAÇÃO DE CORRENTE

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos teóricos no tema do trabalho, resultado de uma revisão bibliográfica que foi conduzida de forma a tornar sólido o conhecimento teórico e prático sobre detecção de falhas de fuga à terra.

2.1 Esquema de aterramento

O aterramento consiste na ligação do sistema e/ou dos equipamentos a terra, através de um componente condutor, para que seja possível o escoamento de cargas de fuga do sistema. Segundo a (NBR 5410, 2004), o aterramento é obrigatório em qualquer instalação elétrica, porque é o sistema responsável por proteger os equipamentos e evitar choques elétricos.

O esquema de aterramento desempenha um papel vital nas instalações elétricas industriais, visando garantir a segurança das pessoas e a estabilidade do sistema. Seu objetivo principal é estabelecer uma conexão segura entre os componentes do sistema elétrico e a terra, desviando correntes de falta de maneira controlada. Isso garante que, em caso de falha no sistema elétrico, a corrente elétrica flua para o solo em vez de passar pelo corpo humano ou equipamentos, prevenindo choques elétricos e danos aos equipamentos (GOMES; PEREIRA; BENDER, 2023).

A importância do esquema de aterramento estende-se à segurança e confiabilidade das instalações elétricas, proporcionando um caminho de baixa impedância para a corrente elétrica em situações de falha. Isso protege as pessoas, os equipamentos e as próprias instalações. Além disso, contribui para a estabilidade do sistema elétrico, facilitando a dissipação de correntes de falta e protegendo contra sobretensões.

Neste trabalho aplicado o esquema de aterramento em sistemas de baixa tensão, analisando os diferentes tipos, suas características, aplicações e implicações técnicas. Será abordada a importância do esquema de aterramento na proteção dos equipamentos e na segurança dos usuários, além de considerar as normas e regulamentações pertinentes. Compreender esses aspectos é fundamental para o projeto e a operação adequada de sistemas elétricos de baixa tensão.

De acordo com (CAPELLI, 2000), o aterramento elétrico tem como funções principais:

- Proteger o usuário do equipamento dos efeitos das descargas atmosféricas, através da viabilização de um caminho alternativo de condução de surto para a terra;
- Descarregar cargas estáticas acumuladas nas carcaças das máquinas ou equipamentos para a terra;
- Facilitar o funcionamento dos dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.), através da corrente desviada para a terra;

- Proteção contra choques elétricos: garantindo a segurança das pessoas em instalações elétricas;
- O aterramento elétrico também pode ser utilizado para eliminar interferências eletromagnéticas (EMI), prevenção de incêndios e garantir a estabilidade do sistema elétrico.

De acordo com (NBR 5410, 2004), na classificação dos esquemas de aterramento é utilizada a seguinte simbologia:

Primeira letra – 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;

Segunda letra – Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:

T = massas diretamente aterradas, independentemente da forma como a alimentação está aterrada. N = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);

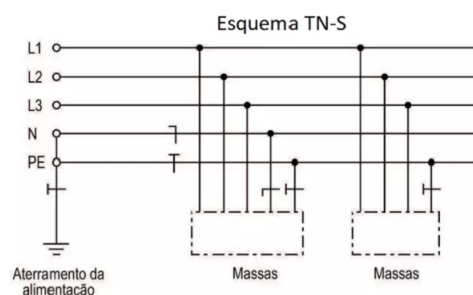
Quanto a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, tem-se ainda:

S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos; C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

Os três sistemas de aterramento mais utilizados na indústria, de acordo com a norma (NBR 5410, 2004), são:

- Sistema TN-S: é utilizado em instalações onde a concessionária fornece um ponto de aterramento. Conforme mostrado na Figura 1, nesse sistema, o neutro é aterrado logo na entrada e levado até a carga, enquanto outro condutor identificado como PE é utilizado como fio terra e conectado à carcaça (massa) do equipamento;

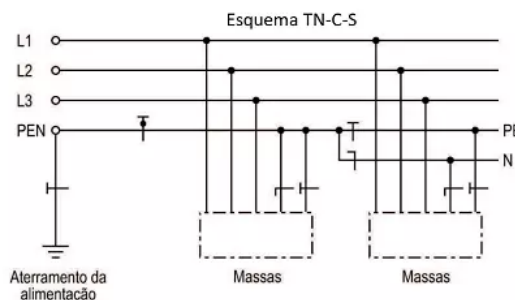
Figura 1 – Sistema de aterramento TN-S.



Fonte: ABNT (NBR 5410, 2004).

- Sistema TN-C-S: é utilizado em instalações onde a concessionária não fornece um ponto de aterramento. Como demonstrado na figura 2 nesse sistema, o neutro e o fio terra são combinados em um único condutor, que é levado até a carga.

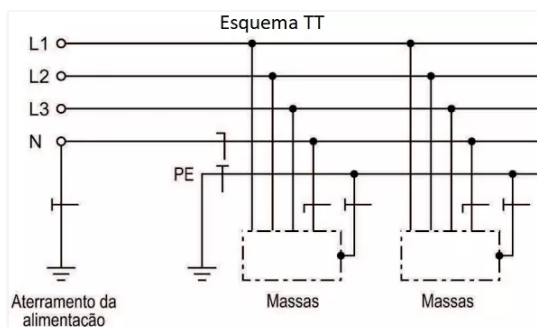
Figura 2 – Sistema de aterramento TN-C-S.



Fonte: ABNT (NBR 5410, 2004).

- Sistema TT: Apresentado na Figura 3, é utilizado em instalações onde não há um ponto de aterramento confiável. Nesse sistema, cada equipamento é aterrado individualmente, por meio de um eletrodo de aterramento conectado a uma haste cravada no solo;

Figura 3 – Sistema de aterramento TT.



Fonte: ABNT (NBR 5410, 2004).

Ao abordarmos a segurança em sistemas elétricos, a escolha do sistema de aterramento desempenha um papel crucial. Cada tipo - TN (Terra-Neutro), TT (Terra-Terra), e IT (Isolado-Terra) - apresenta características distintas que influenciam diretamente na eficiência, segurança e complexidade da instalação elétrica.

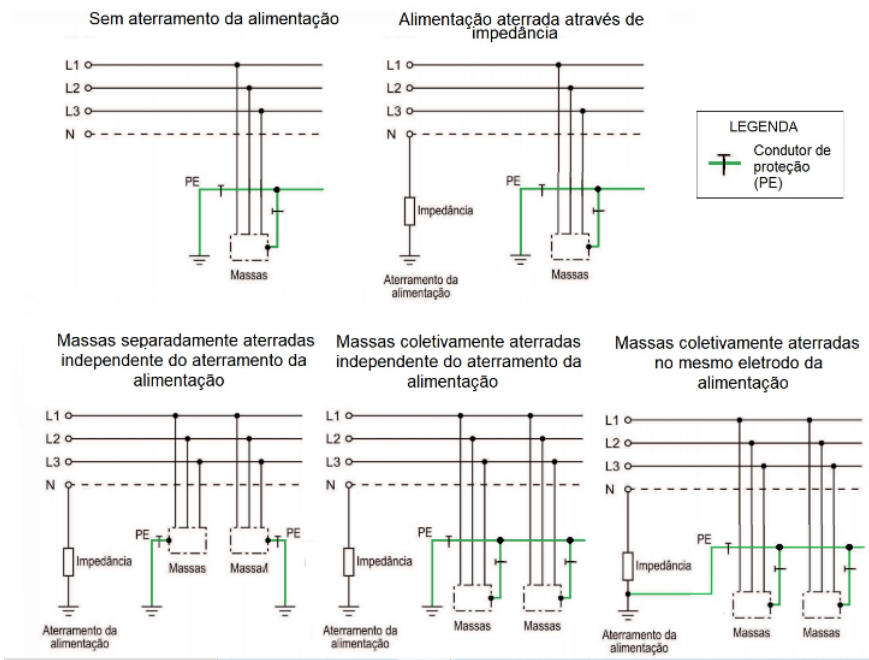
A Tabela 1, destaca as vantagens e desvantagens que moldam a seleção do tipo de aterramento mais adequado para diferentes cenários.

Tabela 1: Comparativo entre os sistemas de aterramento

Sistema	Aterramento TN (Terra- Neutro)	Aterramento TT (Terra-Terra)	Aterramento IT (Isolado-Terra)
Vantagens	- simplicidade e facilidade de instalações - Economia em relação a outros tipos - Proteção eficaz contra choques elétricos.	- Maior segurança, eliminando riscos de sobretensões	- Adequado para sistemas de baixa e média tensão - Isolamento do circuito afetado e continuidade das operações
Desvantagens	- Risco de sobretensões em caso de falha no sistema.	- Maior custo e complexidade de instalação	- Maior custo e complexidade

O sistema que será objeto deste trabalho é um sistema IT, apresentado na Figura 4, que de acordo com a nomenclatura, ao invés de existir um ponto de alimentação diretamente aterrado (como no sistema TT), o sistema é isolado da terra ou aterrado através de impedância, dessa forma, apenas as massas são diretamente aterradas.

Figura 4 – Sistema de aterramento IT.



Fonte: (CREDER, 2007).

O aterramento das massas pode ser realizado de duas formas: individual ou por grupos (como no esquema TT) ou coletivamente aterradas (como no esquema TN).

No sistema IT, em caso de fuga de corrente, o circuito não é imediatamente desligado.

É por essa razão que ele é indicado para situações em que a continuidade da alimentação seja essencial como, por exemplo, em hospitais e processos industriais delicados (CREDER, 2007). Na Figura 4, são exemplificadas as configurações do esquema IT, onde as massas são aterradas em eletrodos de aterramento distintos do eletrodo de aterramento da alimentação em suas possíveis configurações.

Dessa forma, nesse esquema não deve haver um neutro distribuído pela instalação, sendo obrigatória a utilização de dispositivo supervisor de isolamento (DSI) com alerta sonoro e/ou visual. Em um esquema IT, a primeira falha não causará qualquer dano ao isolamento, assim, existindo um dispositivo supervisor de isolamento para monitorar os circuitos, as equipes técnicas poderão localizar a primeira falta e impedir que uma segunda venha a causar danos irreversíveis.

Além disso, a eficácia do esquema de aterramento IT depende principalmente de um monitoramento preciso. Se a primeira falha não for identificada e corrigida a tempo, a utilização desse esquema perde sua razão de ser, tornando-se suscetível a ocorrências subsequentes. Em situações em que o sistema é exposto a múltiplas falhas simultâneas, a continuidade elétrica não é garantida, colocando em risco a interrupção abrupta de processos críticos e aumentando a probabilidade de choques elétricos e acidentes (GOMES; PEREIRA; BENDER, 2023).

2.2 Resistores de aterramento

A utilização de resistores de aterramento em sistemas elétricos é uma técnica comum para garantir a segurança elétrica em instalações industriais e residenciais. Esses resistores são projetados para limitar a corrente elétrica que flui para o solo em caso de falha no sistema elétrico, evitando choques elétricos e danos aos equipamentos. Além disso, os resistores de aterramento ajudam a manter a continuidade operacional do sistema durante faltas à terra, evitando paralisações onerosas. Outra vantagem é que eles contribuem para a qualidade de energia do sistema elétrico, evitando afundamentos de tensão durante as faltas à terra.

As principais justificativas para a aplicação de resistores de aterramento do neutro em sistemas elétricos industriais são. Primeiramente, como explica (COSTA, 2014a), mais de 85% dos curtos-circuitos nos sistemas industriais ocorrem de fase para terra, e grandes partes dos curtos entre fases resultam da evolução de um primeiro curto à terra, onde existe a formação de arco elétrico. A evolução decorre da ionização do ar no entorno do arco, o que propicia as condições de sua evolução para curto entre fases. Como foi discutido na seção 2.1, este fenômeno é especialmente notório em sistemas com o neutro aterrado.

Outra razão importante para aplicação dos resistores no aterramento do neutro consiste na sua habilidade de controlar sobretensões transitórias factíveis de ocorrerem em sistemas com neutro isolado flutuante, isto é, neutro sem conexão à terra (BERNARDI, 2015).

Entre as dificuldades e desafios para a determinação da resistência de aterramento no neutro é, segundo (COSTA, 2014a), encontrar a corrente limitada pelo resistor que deve ser

cuidadosamente escolhida para evitar sobretensões transitórias que possam danificar a isolamento de motores, transformadores, cabos e outros componentes.

De acordo com (COSTA, 2014a), existem dois tipos de resistores comumente utilizados para o aterramento do neutro em sistemas elétricos: resistores de baixo valor ôhmico e resistores de alto valor ôhmico.

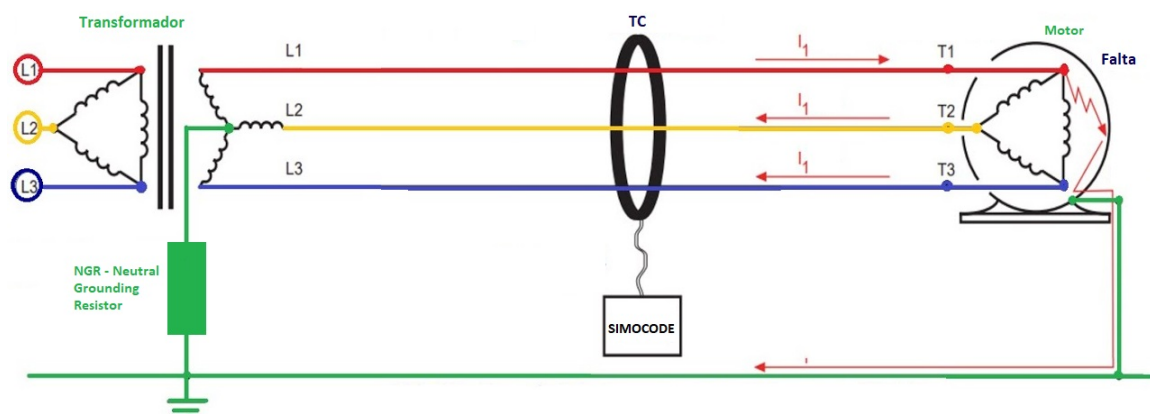
Os resistores de baixo valor ôhmico são utilizados em sistemas de média tensão e exigem o desligamento imediato do sistema na ocorrência de uma falta à terra. Os resistores de baixo valor ôhmico limitam a corrente de falta à terra a valores mais elevados, acima de 10 A, e requerem a utilização de dispositivos de proteção contra sobrecorrentes.(BERNARDI, 2015)

Já os resistores de alto valor ôhmico são utilizados em sistemas de baixa tensão e não exigem o desligamento imediato do sistema na ocorrência de uma falta à terra. Eles são projetados para limitar a corrente elétrica que flui para o solo em caso de falha no sistema elétrico, pois limitam a corrente de falta à terra a valores baixos, menores que 10 A.(COSTA, 2014b) Esses resistores oferecem várias vantagens em relação a outros métodos de aterramento, como a preservação da isolamento dos equipamentos e a contribuição para a qualidade de energia do sistema elétrico.

2.3 Sistemas modernos de aterramentos resistivos

A utilização de resistores de alta resistência (ou alto valor ôhmico) para o aterramento do neutro é necessária quando a continuidade da operação for uma prioridade, por questões econômicas, mesmo quando acontecer uma primeira falta elétrica.

Figura 5 – Um sistema NGR solidamente aterrado com falta à terra.



Fonte: Do autor, 2023.

Um sistema de aterramento de alta resistência usa um resistor de aterramento de neutro (NGR - *Neutral-Grounding Resistor*) para limitar a corrente de falha de aterramento, conforme mostrado na Figura 5. Este sistema é importante para sistemas de baixa resistências ou solidamente

aterrados porque nesses sistemas há um risco momentâneo de falha de aterramento e uma falha no aterramento podendo causar danos no ponto de falha (GOMES; PEREIRA; BENDER, 2023).

Aterramentos de alta resistência eliminam esse problema e proteções modernas de falha de terra operam confiavelmente em níveis de baixa corrente. A escolha do NGR depende da corrente de carga do sistema e se é um sistema somente alarme ou um sistema com disparo. Sistemas "somente alarme" são normalmente limitados até 5KV com corrente de passagem NGR de 5A ou menos.

O aterramento do neutro de transformadores através de resistência permite:

- Reduzir os valores das correntes de curto-circuito para a terra, reduzindo os riscos de acidente para as pessoas, equipamentos e a própria instalação;
- Limitar os níveis das tensões residuais nas malhas de aterramento das subestações devido a uma menor intensidade das correntes circulando, reduzindo assim os valores das tensões de passo e toque, além do custo com a malha.

Conforme explica (COSTA, 2014a), “na aplicação de resistores de alto valor ôhmico, a corrente fase terra é limitada em valores menores que 10 A, e o sistema não é desligado imediatamente, permanecendo com o curto fase-terra durante um período suficiente (recomendado máximo de 12 horas) para sua identificação e tomada de medidas auxiliares que reduzem o tempo de parada para substituição do equipamento defeituoso.”

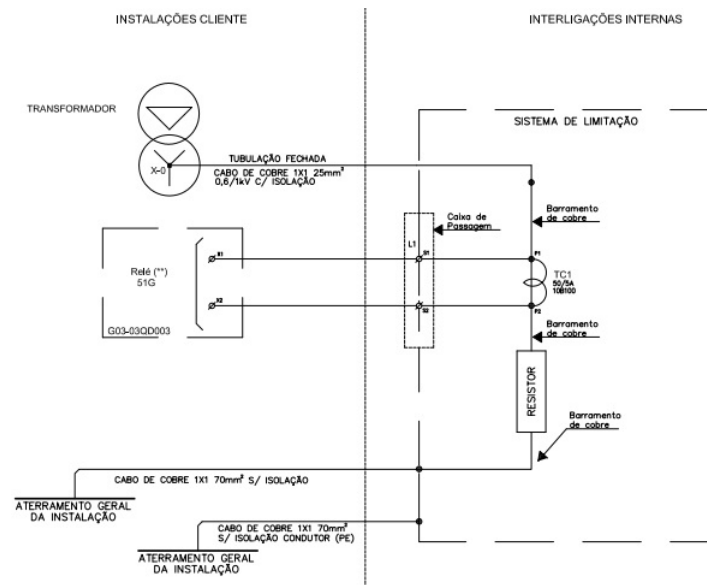
2.3.1 Sistema de limitação de corrente para neutro de transformadores

Um sistema de limitação de corrente para neutro de transformadores é um dispositivo ou conjunto de dispositivos utilizados em instalações elétricas para controlar e limitar as correntes elétricas em caso de ocorrência de faltas ou curtos-circuitos. Sua principal função é proteger os equipamentos elétricos e garantir a segurança dos operadores e usuários do sistema.

O Sistema de limitação de corrente para neutro de transformadores em média tensão é composto por um resistor, um transformador de corrente e relés de proteção, como esta representado na Figura 6. Sua finalidade é proteger sistemas trifásicos de distribuição de energia em média tensão, até 34 kV, limitando as correntes durante uma eventual falta de uma determinada fase para a terra. Isso tem como objetivo minimizar os danos causados por essas falhas.

O sistema atua ao inserir um resistor de potência com o alto valor ôhmico durante a primeira falta à terra. Este resistor tem como função limitar a corrente em caso de falta à terra, essa falta é detectada por um transformador de corrente, que, juntamente com os relés de proteção e os disjuntores, desenergiza o circuito afetado em um tempo bastante reduzido. Esse tempo é ajustado de acordo com a seletividade utilizada na planta como um todo. Com isso, os custos de manutenção de equipamentos danificados pela falta são consideravelmente reduzidos, assim como o tempo necessário para essa manutenção, diminuindo o tempo de parada da planta.

Figura 6 – Sistema de limitação de corrente para neutro de transformadores



Fonte: Adaptado de (LITTELFUSE, 2023)

Os valores ôhmicos dos resistores são calculados durante a fase de projeto, levando em consideração as características do sistema. A potência elétrica do resistor é dimensionada de acordo com a norma (IEEE 32, 1972) considerando a elevação de temperatura nos tempos de projeto estabelecidos (10 segundos, 1 minuto, 10 minutos ou contínuo).

O sistema elétrico, objeto deste estudo, está equipado com um sistema de aterramento resistivo chamado bRAVO, ilustrado na Figura 6.

Este sistema é constituído por:

- Banco de Resistores de Alto Valor Ôhmico (bRAVO), com as seguintes características:
 - Tensão (modo contínuo) - 277 Vac Max;
 - Corrente sob falta franca - 3,0 A;
 - Corrente de sequenciamento - 33% acima da corrente nominal de limitação;
 - Potência (ciclo contínuo) - 2100 W
 - Valor total do Banco: $6 \times 15,4R = 92,4 \Omega$
- Sistema digital de Supervisão e Operação do Equipamento (bRAVO), representado na Figura 7
 - Tensão de Alimentação - 480 VAC – 60HZ (-15% / + 10%);
 - Potência consumida - 100 VA;
 - Indicação - via *Display* alta intensidade;
 - Operações - frontal via botões de comando;

- Sinalização - local (via LEDs) e remota (via 3 saídas NAF).

Esse moderno sistema de supervisão consegue monitorar e limitar a corrente de falta fase-terra a um valor que não danifique os equipamentos. A ocorrência da falta pode ser identificada através do visor que monitora a corrente no neutro, como pode ser observado na Figura 7, caso essa corrente esteja próxima aos limites pré estabelecidos, há uma falta fase-terra.

Para identificar o local da falta, a equipe de manutenção precisa fazer uma pesquisa manualmente, com o auxílio de um alicate amperímetro em cada equipamento alimentado pelo transformador que esta apresentando a falha.

Figura 7 – Sistema digital de Supervisão e Operação do Equipamento (bRAVO)



Fonte: Do autor, 2023.

2.3.2 Autoteste do sistema

O sistema de limitação de corrente desempenha um papel fundamental na proteção dos equipamentos e na segurança dos trabalhadores, ao reduzir as correntes elétricas a níveis seguros em situações de falhas ou curtos-circuitos. Entretanto, para assegurar sua eficiência, é importante submetê-lo a rigorosos testes e ensaios, garantindo sua conformidade com as normas técnicas e regulamentações de segurança elétrica.

No contexto do projeto, o equipamento de supervisão bRAVO possui uma rotina interna de autoverificação, que avalia sua própria integridade operacional e interações com a malha de potência. Essa verificação é realizada através do controle de um relé auxiliar interno, que provoca uma falta à terra por meio de um resistor de valor apropriado. Com base nos resultados obtidos durante essa simulação de falta, o equipamento verifica seu próprio funcionamento e funcionalidade.

Essa rotina de autoteste é de extrema importância, pois permite ao bRAVO monitorar e validar sua capacidade de resposta em situações reais de falta à terra. Ao identificar e analisar seus próprios resultados, o equipamento assegura seu correto funcionamento e eficácia, proporcionando maior confiabilidade no desempenho das funções de limitação de corrente.

O dispositivo de autoteste do sistema de supervisão de faltas à terra possui uma rotina de teste que pode ser acionada manualmente pela chave de TESTE ou automaticamente a cada oito horas. Durante o processo de teste, o sistema de supervisão é temporariamente desligado por 15 segundos para evitar interferências desnecessárias na operação. Caso o sistema de supervisão não detecte a corrente injetada durante o teste, um alarme local via LEDs e remoto é acionado, indicando falha na supervisão.

Se ocorrer uma fuga à terra real com valor superior a 30% do *setpoint*, o autoteste da supervisão é bloqueado, impedindo testes desnecessários. Porém, se a fuga à terra estiver abaixo do *setpoint*, o alarme de falha da supervisão será acionado em intervalos de 8 horas, alertando para a presença de uma corrente significativa que deve ser considerada.

Além disso, a rotina de autoteste é realizada após a extinção de uma eventual falta à terra no sistema, garantindo que a falta tenha sido resolvida de forma adequada. Isso é importante para evitar que a energização ou desenergização de outras cargas no sistema mascarem as correntes de falta, criando um caminho alternativo para a circulação da corrente de falta. Portanto, o autoteste desempenha um papel crucial na garantia da eficiência e confiabilidade do sistema de supervisão de faltas à terra, assegurando a detecção precisa de faltas e contribuindo para a segurança e proteção dos equipamentos elétricos.

3 DETECÇÃO DE FALTAS ELÉTRICAS E NORMAS DE SEGURANÇA

A detecção de faltas elétricas e o cumprimento de normas de segurança são aspectos essenciais para garantir a integridade de sistemas elétricos e a proteção de trabalhadores e equipamentos. Em ambientes com eletricidade, a ocorrência de falhas pode resultar em acidentes graves, danos materiais e interrupção das operações. Nesse contexto, a detecção precoce e eficiente de faltas elétricas é fundamental para evitar consequências indesejáveis.

A detecção de faltas elétricas abrange diversas tecnologias e metodologias, voltadas a identificar e localizar de maneira precisa falhas no sistema elétrico. Os principais tipos de falhas associadas as correntes são: **fuga à terra, curtos-circuitos e sobrecargas**. A utilização de equipamentos de proteção, como relés inteligentes e sistemas de limitação de corrente, desempenham um papel fundamental na detecção e mitigação dessas falhas.

Além disso, para garantir a segurança nas instalações elétricas, é imprescindível seguir as normas e regulamentos específicos. As normas de segurança, estabelecidas por órgãos reguladores e entidades especializadas, fornecem diretrizes detalhadas sobre a correta execução, manutenção e inspeção das instalações elétricas. O cumprimento destas normas é uma forma de assegurar que os sistemas elétricos estejam em conformidade com os padrões de segurança estabelecidos, reduzindo riscos de acidentes e falhas.

Neste capítulo, busca-se explorar a importância da detecção de faltas elétricas e das normas de segurança, destacando como são fundamentais para garantir o funcionamento seguro e eficiente dos sistemas elétricos. Ao longo do trabalho, são apresentados estudos e pesquisas relevantes que embasam a aplicação de tecnologias de detecção e a importância da conformidade com as normas de segurança, visando contribuir para a evolução e aprimoramento contínuo das práticas elétricas em ambientes de baixa tensão.

3.1 Análise de corrente de faltas

A análise das correntes de faltas em instalações de baixa tensão é uma tarefa complexa, influenciada por diversos fatores interligados. Quando tratamos de faltas fase-terra, o valor da corrente resultante é condicionado por vários elementos, como apontado por (COTRIM, 2003):

- Da impedância de toda a rede de distribuição de média e de alta tensão que alimenta o defeito;
- Do tipo e da potência da fonte ou das fontes envolvidas;
- Da impedância das linhas de baixa tensão;
- Da impedância da falta, dependendo do arco elétrico;
- Do instante do início da falta com relação à onda senoidal da tensão aplicada (fase inicial).

As fontes de corrente de faltas são diversas, incluindo geradores síncronos, motores e compensadores síncronos, sistemas de concessionárias de energia elétrica, entre outros. Também é importante ressaltar que os capacitores de potência podem produzir correntes de falta transitórias extremamente elevadas, mas de curta duração e com frequências superiores às industriais.

As principais causas de uma falha de fuga à terra em sistemas elétricos podem variar dependendo do contexto e da instalação específica, conforme abaixo:

1. Impedância da Rede de Distribuição - A impedância de toda a rede de distribuição, tanto de média quanto de alta tensão, que alimenta o defeito, desempenha um papel fundamental;
2. Tipo e Potência da Fonte - A natureza e a potência da fonte ou fontes envolvidas são variáveis significativas na determinação da corrente de falta;
3. Impedância das Linhas de Baixa Tensão - As características das linhas de baixa tensão, incluindo sua impedância, contribuem para a modelagem da corrente resultante;
4. Impedância da Falta - A impedância específica da falta, que pode variar com o tipo de arco elétrico presente, também influencia os valores de corrente;
5. Instante do Início da Falta - O momento exato em que a falta se inicia em relação à onda senoidal da tensão aplicada (fase inicial) é um fator temporal crítico.

3.2 Sistemas de proteção e detecção de fuga à terra

A detecção de faltas elétricas, especialmente a detecção de fuga à terra, é de extrema importância para garantir a segurança e a integridade das instalações elétricas, bem como dos equipamentos e das pessoas envolvidas. Existem diversos métodos e técnicas utilizados para realizar essa detecção, cada um com suas características e aplicabilidades específicas. Nesta discussão, aborda-se alguns desses métodos, enfatizando a detecção de fuga à terra.

Um dos métodos mais comuns para detectar faltas à terra é o uso de dispositivos de proteção diferencial, como os dispositivos IDR (Diferencial Residual) e DDR (Disjuntor Diferencial Residual). Esses dispositivos são projetados para monitorar a diferença entre as correntes de entrada e saída de um circuito elétrico. Quando há uma fuga à terra, ocorre uma diferença significativa entre essas correntes, e o dispositivo de proteção atua rapidamente para desligar o circuito, evitando danos e riscos. (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007)

Outro método comumente utilizado é o monitoramento de corrente de fuga à terra por meio de transformadores de corrente e relés de proteção. Nesse caso, os transformadores de corrente são instalados em série com o circuitos elétricos e o relé de proteção é programado para detectar qualquer corrente anormal que indique uma fuga à terra. Quando essa corrente excede um limite pré-definido, o relé atua para desligar o circuito e sinalizar a ocorrência da falta(SOARES, 2022)

Além disso, a inspeção visual e a utilização de técnicas de termografia podem ser empregadas para identificar pontos de aquecimento e indícios de fuga à terra (OLIVEIRA; FERREIRA, 2022). A termografia, por exemplo, permite a identificação de pontos quentes que podem ser causados por correntes de fuga ou mau contato em conexões elétricas.

Cada método possui suas vantagens e limitações, e a escolha da técnica adequada depende das características específicas de cada instalação elétrica e dos requisitos de segurança. É essencial que os métodos de detecção sejam combinados e implementados de forma integrada para garantir a eficácia na identificação de falhas elétricas, especialmente de fuga à terra.

Neste contexto, dispositivos de proteção desempenham um papel fundamental na garantia da segurança e confiabilidade das subestações de energia elétrica. Ao longo do tempo, esses dispositivos têm passado por uma significativa evolução impulsionada pelos avanços tecnológicos e pela necessidade de atender às demandas cada vez mais complexas das redes elétricas, como é evidenciado pelo estudo (OLIVEIRA; FERREIRA, 2022).

Inicialmente, os relés eletromecânicos foram amplamente utilizados como dispositivos de proteção. Baseados em princípios eletromagnéticos e mecânicos, esses relés eram capazes de detectar falhas e acionar os disjuntores para interromper a corrente elétrica. Embora tenham sido confiáveis por muitos anos, apresentavam limitações em termos de velocidade de atuação e precisão. (OLIVEIRA; FERREIRA, 2022)

Com o advento da eletrônica de potência e dos semicondutores, surgiram os relés estáticos. Esses dispositivos utilizavam componentes eletrônicos, como tiristores e transistores, para detectar e responder a condições anormais na rede elétrica. Os relés estáticos oferecem vantagens significativas em relação aos relés eletromecânicos, sendo mais rápidos, mais precisos e oferecendo maior flexibilidade de configuração. (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007)

A evolução dos dispositivos de proteção de subestações deu um salto significativo com a introdução dos relés digitais (COSTA, 2014a). Esses dispositivos utilizam microprocessadores e *software* para realizar funções de proteção e controle, proporcionando uma ampla gama de recursos avançados, como ajustes programáveis, capacidade de comunicação e registro de eventos. Além disso, permitem uma proteção mais precisa, adaptável e coordenada, contribuindo para a eficiência e confiabilidade das subestações, e possuem funções avançadas de análise de dados e diagnóstico de falhas (OLIVEIRA; FERREIRA, 2022).

Neste contexto, é fundamental destacar que os termos "Intelligent Electronic Devices" (IEDs), conforme ressaltado por (LACERDA; CARNEIRO, 2008), e "relés digitais" são, na realidade, nomenclaturas diferentes para o mesmo dispositivo. Tanto os IEDs quanto os relés digitais desempenham um papel crucial na proteção de subestações, combinando funções de proteção, controle, medição e monitoramento em um único equipamento altamente configurável e com interfaces de comunicação avançadas. Essa equivalência de funções entre IEDs e relés digitais faz com que sejam sinônimos, ambos contribuindo para uma proteção mais inteligente

e adaptável, essencial para a eficiência e confiabilidade das subestações. Em resumo, IEDs e relés digitais são apenas diferentes termos utilizados para se referir ao mesmo dispositivo, que desempenha um papel fundamental na modernização das subestações elétricas.

Além disso, a incorporação de algoritmos avançados, como redes neurais e lógica difusa, tem aprimorado a seletividade e a sensibilidade dos dispositivos de proteção. Isso resulta em uma resposta mais rápida e precisa a eventos anormais na rede elétrica, contribuindo para a segurança e confiabilidade do sistema.

Em conclusão, a evolução dos dispositivos de proteção em subestações de energia elétrica tem sido impulsionada pelo avanço tecnológico e pela necessidade de garantir a segurança e confiabilidade das redes elétricas. Dos relés eletromecânicos aos IEDs, esses dispositivos têm proporcionado proteção mais precisa, adaptável e inteligente, contribuindo para a eficiência operacional e o bom funcionamento das subestações.

No contexto deste projeto, o relé inteligente oferece uma solução avançada e confiável para a detecção precisa de faltas à terra. Sua integração permite uma maior capacidade de monitoramento e proteção, assegurando uma resposta rápida e eficiente diante de situações de risco elétrico. A utilização de múltiplos métodos e técnicas de detecção aliada à tecnologia avançada do relé inteligente fortalece a segurança do sistema elétrico, contribuindo para o funcionamento seguro e eficiente das instalações e reduzindo potenciais danos e interrupções nas operações elétricas.

3.3 Tecnologias utilizadas para a detecção de faltas elétricas

A identificação de faltas elétricas passou por um processo evolutivo impulsionado pelo avanço da tecnologia e pela necessidade de sistemas elétricos mais seguros e confiáveis. Ao longo do tempo, diversas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas para aprimorar a detecção e a localização dessas falhas.

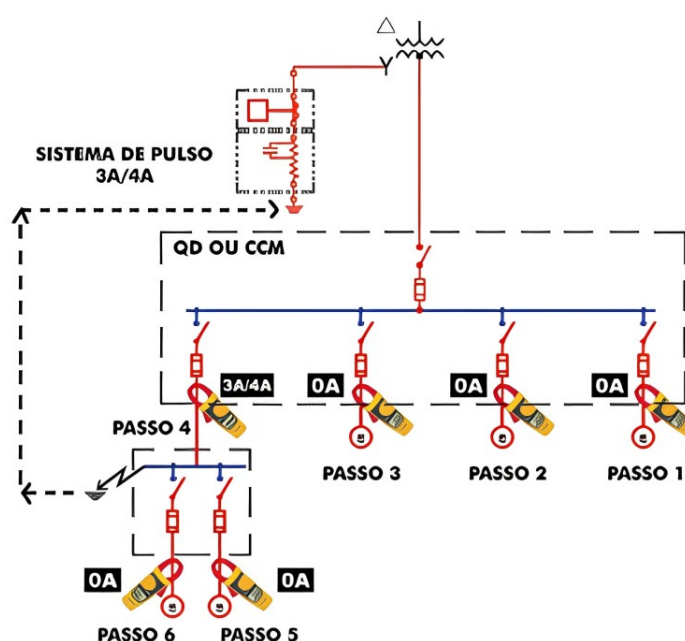
A detecção de uma falha de fuga à terra em campo em motores pode ser um desafio complexo, com considerações importantes relacionadas à segurança e às ferramentas necessárias para a execução dessa atividade. É fundamental ter plena consciência dos riscos elétricos envolvidos e adotar todas as medidas de segurança apropriadas para proteger a integridade dos profissionais envolvidos (NR 10, 2019).

Essa tarefa pode ser complicada devido à complexidade dos sistemas elétricos nos quais esses motores estão inseridos. Os motores são frequentemente integrados a sistemas complexos, com múltiplos componentes e circuitos interconectados. Identificar uma falha de fuga à terra requer a clareza sobre a complexidade inerente desses sistemas, pois o ponto exato da falha pode ser difícil de localizar, especialmente se estiver localizado em áreas de difícil acesso, como partes internas do motor ou cabos e conexões ocultas.

Inicialmente, a identificação de falhas elétricas era realizada de forma manual, com inspeção visual e testes manuais. No entanto, essa abordagem era limitada, pois não conseguia detectar falhas sutis ou internas.

Para superar essa dificuldade, (COSTA, 2014b) sugere a utilização de um sistema de pulso que consiste em, após a ocorrência da falta fase terra e a constatação de sua existência pelo sistema de detecção, aumentar controladamente seu nível por curto espaço de tempo, emitindo pulsos que podem ser facilmente detectados por amperímetro portátil de pinça de grande diâmetro. O sistema objeto deste estudo apresenta o bRAVO, que oferece exatamente este sistema de pulso.

Figura 8 – Processo atual de identificação do curto fase-terra utilizando sistema de pulso e amperímetro alicate.



Fonte: (COSTA, 2014a).

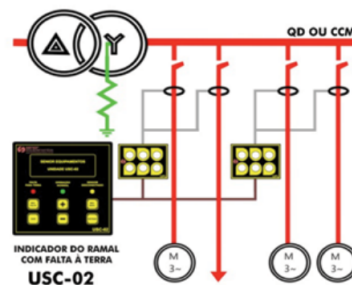
Conforme ilustrado na Figura 8, ao utilizar o sistema de pulso em casos de falhas de fuga à terra, o eletricista precisa abrir a parte traseira do quadro de distribuição. Em seguida, com o auxílio de um alicate amperímetro, ele envolve os três cabos para verificar se o sistema está recebendo os pulsos. Posteriormente, realiza a inspeção seguindo esses pulsos até localizar o motor que apresenta a falha.

Além disso, é importante seguir as normas e regulamentos de segurança elétrica e utilizar equipamentos de medição adequados e calibrados para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados.

Com o surgimento da eletrônica, foram desenvolvidos indicadores visuais, como lâmpadas ou LEDs, que auxiliavam na identificação de falhas elétricas. Embora fossem uma melhoria em relação à detecção manual, ainda dependiam da observação visual e não forneciam informações precisas sobre a localização da falha.

Atualmente são disponíveis sistemas de detecção fixos de baixo custo, instalados nos alimentadores, os quais evitam o risco do contato com os cabos isolados energizados, o que é necessário quando se utiliza o amperímetro de pinça. Evitar o risco está dentro do propósito da norma brasileira (NR 10, 2019), que tem sido evocada na situação descrita, e, portanto, favorece a aplicação dos sistemas de detecção inteligentes, fixos. A Figura 9 ilustra tal sistema.

Figura 9 – Sistema inteligente de pesquisa *on-line* do local em que ocorre uma falta fase-terra limitada por meio de resistores de alto valor ôhmico (atende completamente a (NR 10, 2019)).



Fonte: (COSTA, 2014b)

A introdução dos relés de proteção foi um avanço significativo. Esses dispositivos eletrônicos monitoram o sistema elétrico e respondem a condições anormais, como curto-circuitos ou faltas fase-terra em curto circuito (Figura 10). Os relés de proteção permitem uma resposta mais precisa e adaptável às condições específicas do sistema elétrico, como foi abordado mais profundamente na seção 3.2.

Figura 10 – Dispositivos eletrônicos para o monitoramento de sistemas trifásicos.



Fonte: Catálogo WEG

Com o avanço da automação e da tecnologia da informação, surgiram sistemas de monitoramento contínuo. Esses sistemas utilizam sensores e dispositivos de medição para coletar dados em tempo real do sistema elétrico. Algoritmos avançados analisam esses dados e permitem a rápida detecção e a localização precisa das faltas. Isso possibilita a manutenção preditiva,

reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a confiabilidade do sistema, como foi discutido na seção 3.4.

Além disso, tecnologias como inteligência artificial, aprendizado de máquina e Internet das Coisas estão impulsionando ainda mais a evolução na identificação de falhas elétricas. Essas tecnologias permitem a análise de grandes volumes de dados, a detecção de padrões complexos e o monitoramento remoto em tempo real dos sistemas elétricos.

Em resumo, o relé inteligente desempenha um papel fundamental na automação industrial, monitorando e controlando motores e sistemas elétricos. Além de suas capacidade técnica, é essencial cumprir as normas e regulamentos relevantes, para garantir a segurança, a confiabilidade e a conformidade legal nas operações industriais.

3.4 Relé inteligente SIMOCODE

O SIMOCODE pro V (*SIRIUS Motor Management and Control Devices*) é um relé inteligente desenvolvido pela Siemens, projetado para monitorar e proteger motores elétricos em sistemas de controle e automação industrial. Ele oferece recursos avançados de proteção, diagnóstico e controle para garantir a operação segura e eficiente dos motores.(ALVES, 2023)

Na Figura 11 pode-se ver o relé inteligente utilizado no projeto.

Figura 11 – SIMOCODE Pro V.



Fonte: SIRIUS – Gerenciamento de Motores, 2007.

O relé SIMOCODE pro V possui uma interface amigável que permite a configuração e a parametrização dos seus diversos parâmetros de operação. Ele pode ser conectado a sensores e dispositivos de medição para monitorar as grandezas elétricas e mecânicas.

Ele possui a comunicação PROFIBUS que é um protocolo de comunicação industrial utilizado para troca de dados em tempo real entre dispositivos de campo e controladores em sistemas de automação industrial. Ele oferece alta velocidade, confiabilidade e recursos avançados, sendo amplamente utilizado em diversos setores da indústria. (ALVES, 2023)

O SIMOCODE é um sistema flexível e modular de gerenciamento de motores de baixa tensão e velocidade constante; que otimiza a conexão entre o sistema de controle e a combinação de partida, aumenta a disponibilidade da planta e, ao mesmo tempo, proporciona significantes reduções de custos no que diz respeito ao planejamento, comissionamento e operação do processo (ALVES, 2023).

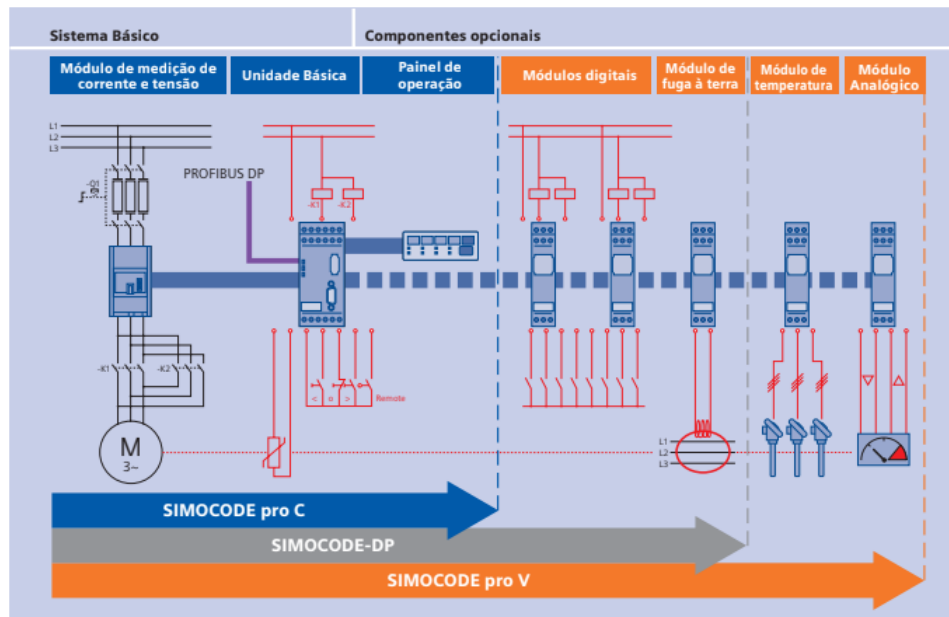
Para utilização adequada do SIMOCODE com eficiência, é crucial ajustar seus parâmetros, como ilustrado na Figura 12. O SIMOCODE oferece diversas funções de controle de motor integradas e predefinidas, incluindo todas as conexões e intertravamentos necessários:

- Relé de sobrecarga;
- Partida direta;
- Partida reversa;
- Atuação de um disjuntor;
- Estrela-triângulo *starter*, também com partida reversa;
- Duas velocidades, motores com enrolamentos separados com reversão de rotação;
- Duas velocidades, motores com enrolamentos Dahlander com reversão de rotação;
- Controle da válvula solenoide;
- Controle do posicionador;
- Partida *Soft Starter*, combinado com partida reversa através do contator;

Para realizar essa parametrização, é utilizado o *software* desenvolvido pela Siemens. O "TIA Portal Siemens" é uma plataforma de desenvolvimento de *software* especificamente projetada para otimizar a automação industrial. Seu objetivo principal é oferecer uma solução completa, abrangendo desde a configuração até a programação e operação de equipamentos industriais. (ALVES, 2023)

Uma das vantagens significativas do TIA Portal é a capacidade de parametrização, que é realizada por meio do *software* integrado à própria plataforma. Isso implica que um único relé pode ser aplicado em diversas situações e tipos de cargas. O *software* permite ajustar todos os parâmetros relacionados ao monitoramento e proteção da carga, incluindo a definição de

Figura 12 – Esquemático do SIMOCODE Pro V.



Fonte: SIRIUS – Gerenciamento de Motores, 2007.

mensagens de *status*, alarmes e a detecção de falhas durante o processo de configuração (ALVES, 2023).

Além disso, o TIA Portal oferece flexibilidade para criar lógicas personalizadas no *software*, possibilitando um controle otimizado das partidas dos motores. Este relé inteligente auxilia as indústrias a melhorar sua eficiência, flexibilidade e conectividade, gerenciando todos os dados dos processos e garantindo uma maior disponibilidade nas operações industriais (ALVES, 2023).

Neste projeto, será empregado o módulo de fuga à terra, uma importante adição à unidade básica do SIMOCODE pro V. Esse módulo desempenha um papel fundamental ao possibilitar a detecção de faltas à terra nas instalações elétricas. Sua funcionalidade consiste em monitorar continuamente os circuitos elétricos e identificar qualquer corrente anormal que possa indicar uma fuga à terra.

O módulo de fuga à terra é conectado à unidade básica do SIMOCODE pro V, ver Figura 12, tornando-se uma ferramenta versátil e de fácil integração ao sistema existente.

3.5 Normas e regulamentos

As normas e regulamentos desempenham um papel de extrema importância no desenvolvimento deste projeto, principalmente no que se refere às instalações elétricas. Essas diretrizes técnicas estabelecem os requisitos mínimos de segurança, desempenho e qualidade que devem ser rigorosamente seguidos ao projetar, instalar e operar sistemas elétricos.

A principal relevância das normas e regulamentos reside na sua capacidade de garantir a segurança dos usuários e a integridade das instalações elétricas. Elas são cuidadosamente elaboradas com base em pesquisas extensivas, conhecimento técnico sólido e melhores práticas consolidadas.

Além da segurança, as normas e regulamentos também asseguram a qualidade e o desempenho adequado das instalações elétricas. Elas abrangem aspectos cruciais, como dimensionamento correto dos componentes, seleção apropriada de materiais, métodos de instalação adequados e critérios de manutenção.

No contexto específico do aterramento elétrico, é importante mencionar que esse aspecto é amplamente regulamentado por normas técnicas que visam assegurar a segurança e a confiabilidade das instalações elétricas. Algumas das principais normas técnicas relacionadas ao aterramento elétrico incluem:

- ABNT (NBR 5410, 2004): Esta norma estabelece as condições a serem rigorosamente observadas na execução de instalações elétricas de baixa tensão, inclusive as de aterramento. Ela define, por exemplo, as classes de condutores de proteção e os critérios de resistência de terra.
- ABNT (NBR 15749, 2009): Esta norma estabelece os requisitos abrangentes para projeto, instalação, comissionamento, operação e manutenção de sistemas de aterramento elétrico em subestações, estações de transformação e usinas geradoras.
- ABNT (NBR 5419, 2015): Diretrizes essenciais para a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, incluindo medidas de aterramento adequadas para essas estruturas.
- ABNT (NBR 7117-1, 2020): Essa norma estabelece especificações rigorosas para eletrodos de aterramento, que desempenham um papel crucial na conexão do sistema elétrico com a terra.

Além dessas normas, é essencial mencionar a importância das Normas Regulamentadoras (NRs) do Brasil, que também desempenham um papel fundamental na garantia da segurança e conformidade legal em relação às instalações elétricas, com destaque para a NR 10 e NR 12.

A (NR 10, 2019) estabelece os requisitos e medidas de controle de segurança e saúde no trabalho relacionados à eletricidade. Ela abrange desde a instalação, operação, manutenção e intervenção em instalações elétricas, estabelecendo diretrizes específicas para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos com eletricidade.

Já a (NR 12, 2022) trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Ela inclui requisitos relacionados à segurança elétrica em máquinas e equipamentos que utilizam energia elétrica, assegurando a prevenção de acidentes envolvendo eletricidade em contextos industriais e operacionais.

É fundamental destacar que, embora as Normas Regulamentadoras (NRs) sejam de cumprimento obrigatório, as Normas Brasileiras (NBRs) estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) não possuem essa obrigatoriedade, uma vez que são criadas por uma entidade privada. Entretanto, algumas leis podem exigir o cumprimento de determinadas NBRs para garantir a qualidade, segurança e uso adequado de produtos e serviços.(EMPREGO, 2023)

É importante salientar que as normas e regulamentos estão em constante evolução, acompanhando os avanços tecnológicos e as necessidades da indústria. Ficar atualizado com as últimas revisões e edições das normas é essencial para garantir que o projeto esteja alinhado com as práticas mais recentes e incorpore as inovações mais recentes em segurança e desempenho.

3.6 Estudos no tema

Segundo o artigo (OLIVEIRA; FERREIRA, 2022), os relés digitais desempenham um papel fundamental nas subestações, oferecendo diversas funcionalidades que podem substituir outros sistemas de medição e controle presentes nesses locais. Além de suas funções tradicionais de proteção do sistema elétrico, os relés modernos também assumem o papel de monitorar as grandezas elétricas, tornando-se parte essencial dos esquemas de automação das subestações. A característica de automonitoramento presente nesses dispositivos é notável, pois eles realizam rotinas internas para verificar seu correto funcionamento e, por consequência, prolonga o intervalo entre as manutenções necessárias.

A utilização de relés digitais não só traz os benefícios mencionados acima, mas também pode reduzir a necessidade de testes de instalação e manutenção, o que representa uma economia de tempo e recursos para a subestação. A modernização da subestação por meio da implantação de relés digitais oferece vantagens, sendo a principal delas a ampla variedade de ajustes e configurações disponíveis no sistema. Isso permite a elaboração de um projeto de proteção, controle e supervisão mais abrangente e eficiente, utilizando o relé digital como o equipamento principal.

Em suma, os relés digitais se destacam por sua versatilidade, capacidade de automonitoramento e a contribuição para a modernização das subestações. Com suas múltiplas funcionalidades e papel central na automação do sistema, esses dispositivos desempenham um papel crucial no monitoramento e proteção confiável do sistema elétrico em subestações, resultando em operações mais eficientes e seguras.

O estudo (SATTARI; PANETTA, 2018) evidencia que em sistemas de baixa tensão (até 5kV), a adoção do aterramento com resistores de alto valor ôhmico oferece uma solução mais segura e confiável em comparação com sistemas aterrados e não aterrados. Quando ocorre uma falta fase-terra nesses sistemas, o risco de arco voltaico é significativamente reduzido, garantindo a continuidade de energia e minimizando os danos no ponto da falha. Além disso, o uso do

aterramento de alta resistência contribui para limitar os custos de reparo em caso de ocorrência de falhas elétricas, tornando-o uma opção mais vantajosa em termos de segurança e economia.

O estudo (ROBERTS et al., 2001) apresenta o método de alta resistência ao medir a condutância de sequência-zero no alimentador protegido. Segundo o artigo, esse método é eficaz em sistemas equilibrados e também em situações em que há pequenos erros nos transformadores de corrente (TCs), bem como no uso de TCs somadores de fluxo.

Uma melhoria proposta no artigo é calcular a condutância incremental como a parte real da relação entre a corrente de sequência-zero incremental e a tensão de sequência-zero incremental. O método da condutância incremental é descrito como sendo intrinsecamente direcional, o que significa que possui uma orientação específica para o fluxo de corrente, tornando-o ainda mais eficiente.

3.7 Considerações finais

Na revisão bibliográfica, foram explorados diversos tópicos relacionados à detecção de falhas elétricas e à importância dos sistemas de limitação de corrente para proteção de equipamentos e segurança dos trabalhadores. Foram abordadas normas e regulamentos relevantes, como a (NR 10, 2019) e (NR 12, 2022), que estabelecem diretrizes para a segurança em instalações elétricas e trabalho em máquinas e equipamentos.

Além disso, foram discutidas as principais técnicas e métodos de detecção de falhas, com ênfase na detecção de fuga à terra, destacando a importância de sistemas de proteção eficientes. O sistema identificação de falha, em específico o módulo de fuga à terra conectado à unidade básica do SIMOCODE pro V, foi apresentado como uma solução para identificar e localizar falhas de fuga de corrente à terra, contribuindo para a segurança e confiabilidade das instalações elétricas.

Por fim, foram apresentadas a relevância de testes e ensaios rigorosos para garantir a conformidade dos sistemas de limitação de corrente com as normas técnicas e regulamentações de segurança elétrica.

Conectando os pontos discutidos na revisão bibliográfica ao projeto de pesquisa, fica evidente a importância de um sistema eficiente de limitação de corrente para proteção dos equipamentos e prevenção de acidentes elétricos. O estudo e a implementação desse sistema no contexto das subestações é fundamental para garantir a segurança dos trabalhadores e a continuidade das operações elétricas. A análise das normas e regulamentos é essencial para assegurar que o projeto esteja em conformidade com as diretrizes de segurança elétrica estabelecidas pelas autoridades competentes.

A utilização do módulo de fuga à terra do SIMOCODE pro V representa um avanço tecnológico importante para detecção e localização precisa de falhas de aterramento no sistema elétrico objeto deste estudo. A rotina de autoteste do equipamento de supervisão bRAVO contribui

para a confiabilidade do sistema, garantindo sua capacidade de resposta e funcionamento adequado em situações críticas. Em trabalhos no tema, destaca-se a busca contínua por aprimoramentos e inovações no sistema, visando aperfeiçoar ainda mais sua eficácia e segurança.

Com base nessa síntese, o projeto de pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento e implementação de um sistema de limitação de corrente eficiente e seguro, proporcionando benefícios significativos para a proteção dos equipamentos e a segurança dos trabalhadores envolvidos nas operações elétricas.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento deste projeto. A combinação da metodologia experimental e da metodologia de estudo de caso foi escolhida para proporcionar uma abordagem abrangente e robusta na investigação do sistema de detecção de falhas de fuga à terra.

A metodologia experimental foi essencial para validar e avaliar o desempenho do sistema desenvolvido. Por meio da realização de experimentos práticos, foi possível obter resultados concretos e mensuráveis que comprovam a eficácia do sistema na detecção de falhas de fuga à terra. Essa abordagem permitiu uma análise objetiva do sistema em condições controladas, fornecendo *insights* valiosos sobre seu funcionamento e possíveis melhorias.

Já a metodologia de estudo de caso foi de suma importância para compreender a aplicabilidade do sistema de detecção de falhas de fuga à terra em contextos reais. Por meio da seleção de um caso real, onde o sistema foi implementado e avaliado, foi possível analisar como a solução se adaptou ao sistema já existente. Essa abordagem ofereceu uma visão mais abrangente do sistema, considerando aspectos práticos e desafios encontrados na implementação.

A escolha dessas abordagens metodológicas foi motivada por diversos fatores. Primeiramente, a metodologia experimental permitiu a verificação do sistema de detecção de falhas de fuga à terra, possibilitando a coleta de dados concretos que respaldem as conclusões e contribuam para a validação do projeto. Além disso, a metodologia de estudo de caso permitiu analisar e compreender as características e demandas específicas do sistema elétrico em que o sistema foi implementado.

4.1 Metodologia Experimental

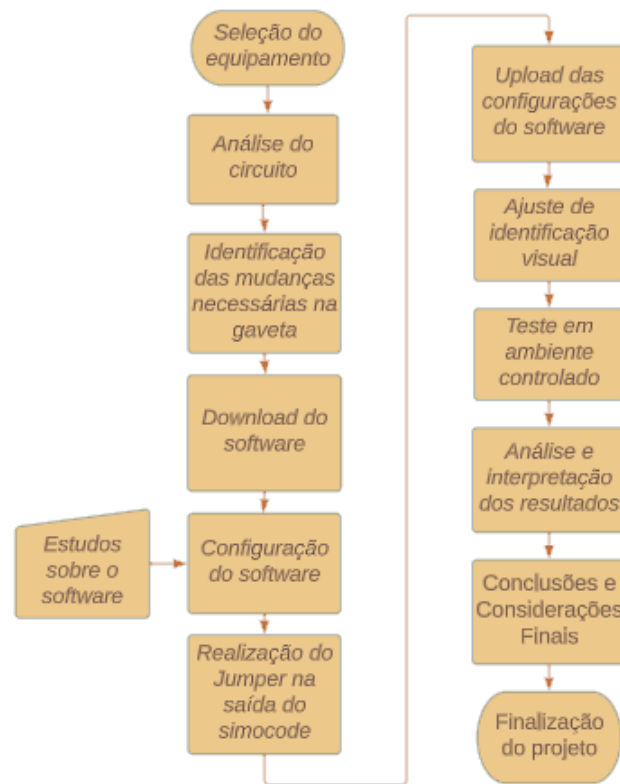
A metodologia experimental desempenhou um papel importante na validação e avaliação do sistema de detecção de falhas de fuga à terra proposto neste projeto. Por meio de uma abordagem prática, foram conduzidos experimentos para obter resultados concretos e mensuráveis que demonstraram o desempenho do sistema em condições controladas.

O primeiro passo consiste na seleção cuidadosa dos equipamentos e dispositivos necessários para montar o sistema experimental, conforme fluxograma apresentado na Figura 13. Escolha baseada em pesquisa, levando em consideração as especificações técnicas, a compatibilidade com o relé SIMOCODE e a adequação às características das gavetas de 480V.

Em seguida, o relé SIMOCODE é configurado de acordo com as especificações do sistema de detecção de falhas de fuga à terra, onde são estabelecidos os parâmetros relevantes, como os limites de corrente de fuga à terra e os tempos de resposta do relé.

Os experimentos são realizados em um ambiente controlado que simula condições próximas às reais. São introduzidas falhas de fuga à terra em diferentes gavetas de 480V, e o sistema

Figura 13 – Fluxograma de Implementação do Projeto



Fonte: Do autor, 2023

de detecção é monitorado para identificar essas falhas.

Através dessa metodologia experimental, o objetivo é validar e avaliar a capacidade do sistema de detecção em identificar e sinalizar com precisão as falhas de fuga à terra na gaveta de 480V. A análise dos resultados fornecem informações valiosas sobre o desempenho do sistema, permitindo a validação do projeto e possibilitando ajustes e melhorias futuras.

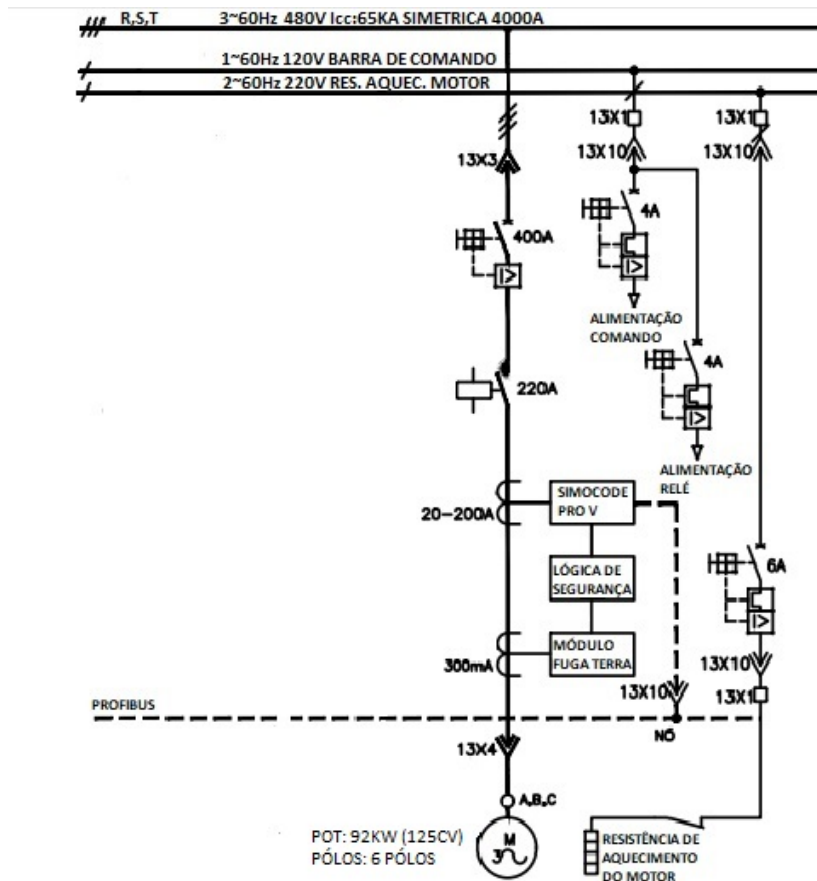
4.2 Estudo de caso

A metodologia de implementação do projeto segue um planejamento minucioso com uma série de etapas bem definidas, conforme ilustrado na Figura 13. Inicialmente, é realizada a seleção e configuração dos principais equipamentos envolvidos, incluindo o equipamento de supervisão bRAVO, o relé inteligente SIMOCODE juntamente com o módulo de detecção de fuga à terra, além do motor de CA onde o projeto é implementado. Essa escolha é pautada nas características específicas do sistema elétrico em questão e nos objetivos do projeto.

No caso específico deste estudo, foi selecionado um sistema elétrico existente que apresenta desafios relacionados à detecção e localização de falhas de fuga à terra, representado na

Figura 14.

Figura 14 – Circuito de acionamento e controle do motor.



Fonte: Do autor, 2023

O sistema elétrico mostrado na figura 14 é composto por um transformador de 13,8kV/480V, no qual o neutro do secundário do transformador é aterrado usando o método de alta impedância conhecido como método dispositivo de supervisão de isolamento (DSI), mostrado na Figura 7. Esse transformador fornece energia para o barramento de um Centro de Controle de Motores (CCM) que contém aproximadamente 40 motores (Figura 15).

Dentro desse cenário, o equipamento de supervisão (bRAVO) é ativado quando ocorre uma fuga à terra, limitando a corrente de falta a 5A. No entanto, devido ao fato de o sistema supervisionar todo o barramento de 480V, identificar com precisão qual motor está causando o problema é um processo demorado e que expõe o eletricista a riscos.

Na tentativa de solucionar esse desafio, foi conduzida uma análise detalhada dos circuitos do dispositivo de proteção SIMOCODE já integrado na gaveta. Essa análise foi fundamental para identificar as mudanças necessárias que permitiriam a ativação da sinalização visual em caso de falta fase-terra. Com base nessa análise, o ponto de *jumper* (Figura 16) nas saídas do SIMOCODE foi identificado e implementado para viabilizar a função de sinalização.

Figura 15 – Centro de Controle de Motores (CCM)



Fonte: Do autor, 2023

Uma parte fundamental do processo foi o ajuste da saída responsável pela identificação visual. Optou-se por utilizar o sinalizador amarelo piscante na frequência de 1Hz para sinalizar a ocorrência da falha, já existente na gaveta (Figura 17). Essa escolha permitiu que a gaveta afetada pela falta fosse rapidamente identificada, otimizando o processo de manutenção e correção.

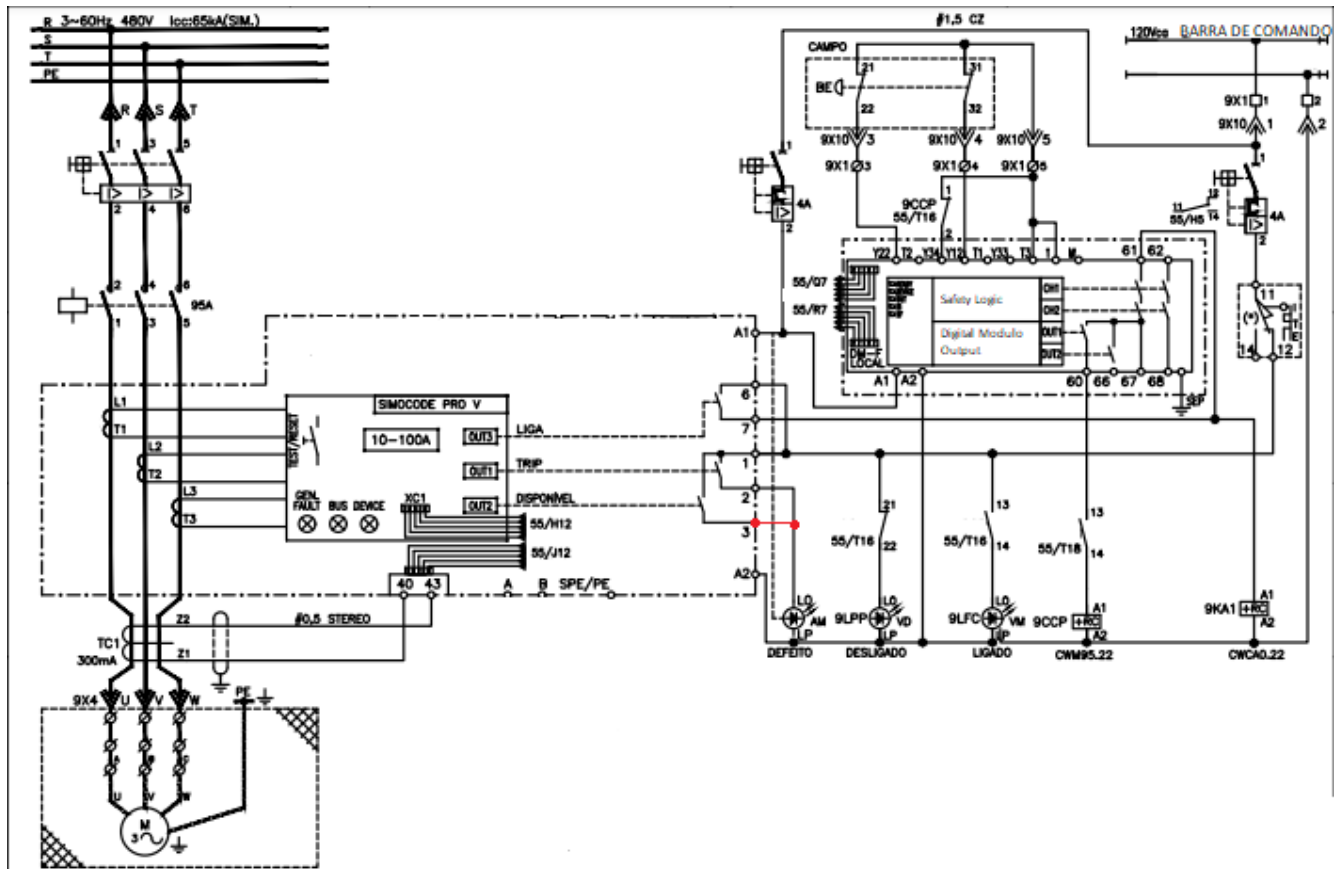
O processo de implementação do sistema de detecção de falhas de fuga à terra será detalhado na seção 5. Isso envolve a configuração da lógica de programação específica e parametrização do relé SIMOCODE já instalado nas gavetas de 480V selecionadas. São também mencionados os cuidados e procedimentos necessários para garantir uma implementação adequada do sistema.

Antes da implementação definitiva, foram realizados testes em ambiente controlado, como será discutido no item 6.2. Esses testes foram cruciais para verificar a eficácia da lógica de programação e a correta ativação da sinalização visual em diferentes cenários de falta fase-terra.

Com as configurações otimizadas e os testes em ambiente controlado concluídos, o sistema de detecção de fuga à terra foi implementado no sistema elétrico.

Por fim, a análise e validação dos resultados são realizadas, comparando os resultados obtidos com os objetivos iniciais do projeto.

Figura 16 – Representação do jumper no circuito.



Fonte: Do autor, 2023

4.3 Considerações Éticas e Limitações

A condução deste experimento e estudo de caso requer uma atenção especial às considerações éticas, especialmente em relação à privacidade e segurança dos dados e informações envolvidos. Neste projeto, algumas considerações éticas importantes devem ser levadas em consideração.

Em relação à privacidade dos dados, foi fundamental garantir que todas as informações coletadas durante os experimentos e estudos de caso fossem tratadas com o devido sigilo e confidencialidade. Portanto, todas as informações apresentadas neste trabalho foram obtidas com a permissão e o consentimento dos responsáveis pelos sistemas elétricos analisados, assegurando a utilização destas informações apenas para fins acadêmicos.

Além disso, é importante garantir a segurança dos dados e informações coletados. Isso incluiu o armazenamento seguro dos dados, a proteção contra acesso não autorizado e a implementação de medidas adequadas para evitar a perda ou a corrupção dos dados durante o processo de coleta, análise e armazenamento.

Outra consideração ética relevante tomada neste trabalho foi a transparência e a honesti-

Figura 17 – Parte frontal da gaveta



Fonte: Do autor, 2023

dade na divulgação dos resultados, visto que é fundamental apresentar os resultados de forma precisa e imparcial, evitando qualquer manipulação ou distorção das informações coletadas.

5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS DE FUGA À TERRA

O sistema de detecção de falhas de fuga à terra foi desenvolvido para identificar e localizar fuga à terra em gavetas de 480V, utilizando o relé inteligente Siemens SIMOCODE e um conjunto de resistências denominado bRAVO já existente na subestação, como visto na Figura 14 e na Figura 20 apresentada posteriormente.

A lógica de programação foi implementada no relé SIMOCODE, permitindo que ele identifique e sinalize a ocorrência de uma falha de fuga à terra em um equipamento específico. Através da monitoração da corrente do condutor de neutro, o relé é capaz de detectar valores acima do limite estabelecido acionando um sinal de alerta para indicar a localização da falha.

Para garantir a eficiência e precisão do sistema, foram configurados corretamente os parâmetros do relé SIMOCODE, como o valor limite da corrente de fuga à terra e os tempos de resposta. Essa configuração foi adaptada às características específicas das gavetas de 480V e às necessidades de detecção de falhas.

A implementação do sistema de detecção de falhas de fuga à terra exigiu um cuidadoso planejamento e configuração dos componentes, bem como a integração adequada com os equipamentos existentes na gaveta de 480V.

Durante a implementação do sistema, foram realizados testes para avaliar o desempenho do sistema de detecção. Todos os resultados desses testes, incluindo registros detalhados de ocorrências de falhas de fuga à terra e as respostas do sistema, foram documentados e discutidos no item 6.2. Essa documentação servirá como base para a replicação do projeto em outros motores, garantindo a consistência e a eficácia em futuras implementações.

5.1 Seleção do equipamento para a implementação do projeto

A seleção adequada do equipamento é um aspecto crítico para o sucesso da implementação do projeto de detecção de faltas elétricas. O equipamento escolhido deve ser capaz de identificar e sinalizar as faltas de forma eficiente e precisa, garantindo a segurança do sistema elétrico e a rápida resposta às ocorrências.

A seleção da gaveta de 480V na qual foi implantado o projeto de detecção de faltas à terra foi realizada com base em algumas análises e critérios que nortearam tal escolha, enumerados abaixo:

1. **Análise do Sistema Elétrico** - É fundamental compreender a estrutura do sistema elétrico no qual a gaveta de 480V está inserida. Verificando a distribuição da carga, a configuração dos circuitos, a presença de equipamentos críticos, entre outros fatores que possam influenciar na detecção e resposta às faltas à terra.

2. Avaliação da Sensibilidade Necessária - Determinou-se o nível de sensibilidade requerido para identificar as faltas à terra de forma eficiente. Isso pode variar dependendo da criticidade dos equipamentos alimentados pela gaveta e das normas de segurança aplicáveis.
3. Compatibilidade com o Relé SIMOCODE- Certificou-se que a gaveta selecionada é compatível com o relé SIMOCODE escolhido para o projeto.
4. Acessibilidade e Facilidade de Instalação - Considerou-se a acessibilidade da gaveta para instalação e manutenção do relé e dos equipamentos necessários para a detecção de faltas à terra.

Ao seguir esses passos, e com o intuito de assegurar a integridade do equipamento selecionado e prevenir paralisações não planejadas, foi decidido realizar uma avaliação do motor de uma bomba com base em sua criticidade, um indicador utilizado para classificar os ativos de acordo com sua importância na cadeia de produção.

A bomba escolhida apresenta a criticidade C: Este nível abrange equipamentos de menor importância para a produção, apresentando um risco reduzido para o processo em caso de paralisação. É crucial destacar as características específicas deste motor elétrico (Figura 18):

Tabela 2 – Características do Motor

Característica	Descrição
Tipo	Motor de corrente alternada
Modelo	Rotor em gaiola
Potência	92 kW (125 cv)
Número de polos	6
Frequência	60Hz
Roteção Nominal	1190 rpm
Tensão Nominal	460V
Método de partida	Partida direta

5.1.1 Seletividade do sistema

Para garantir que o sistema seja capaz de diferenciar a fuga à terra de outras falhas, como outros tipos de curtos-circuitos ou sobrecargas, é necessário implementar uma lógica de programação adequada no relé SIMOCODE. Existem várias abordagens que podem ser adotadas para realizar essa distinção de forma eficiente. Abaixo estão algumas estratégias que foram consideradas:

- Análise de assimetria de correntes- Uma falta fase-terra geralmente causa assimetria nas correntes das fases envolvidas. Utilizando os sensores de corrente adequados, o relé pode

Figura 18 – Motor CA.



Fonte: WEG, 2023

monitorar as correntes das fases e comparar seus valores para detectar qualquer assimetria significativa, o que indicaria a presença de uma falta fase-terra;

- Monitoramento de tensões- O relé também pode monitorar as tensões das fases em relação ao terra. Uma falha fuga à terra geralmente resulta em uma queda significativa na tensão da fase afetada em relação ao terra, enquanto em outras falhas, como curtos-circuitos entre fases, as tensões permanecem mais equilibradas;
- Análise de harmônicas- A falta fase-terra pode gerar harmônicas adicionais nas correntes e tensões do sistema. O relé pode analisar a presença de harmônicas e sua magnitude para identificar a ocorrência de uma falta fase-terra (DIAS, 2002);
- Características temporais- Falhas diferentes podem apresentar padrões temporais distintos. O relé pode monitorar a variação de correntes e tensões ao longo do tempo para identificar a ocorrência de uma falta fase-terra;
- Combinação de múltiplos critérios- Para aumentar a confiabilidade da detecção, o sistema pode combinar múltiplos critérios de análise, como assimetria de correntes, monitoramento de tensões e análise de harmônicas, para identificar a falta fase-terra de forma mais precisa;
- Testes em ambiente controlado- Antes da implementação definitiva, é importante realizar testes em ambiente controlado para verificar a eficácia da lógica de programação e garantir que o sistema seja capaz de diferenciar adequadamente a falta fase-terra de outras falhas;
- Monitoramento e ajustes- Após a implementação, é importante monitorar continuamente o desempenho do sistema e realizar ajustes na lógica de programação, se necessário, para aprimorar a detecção e minimizar o risco de falsos alarmes.

A abordagem do presente projeto para a detecção de falha fuga à terra contempla a combinação de múltiplos critérios como parte central da estratégia. Por meio dessa técnica, é possível aumentar significativamente a confiabilidade e precisão do sistema de detecção, ao

analisar simultaneamente diferentes parâmetros como assimetria de correntes e monitoramento de tensões.

Além disso, o projeto também inclui a etapa crucial de testes em ambiente controlado. Essa fase permite validar a eficácia da lógica de programação desenvolvida, garantindo que o sistema seja capaz de diferenciar com acurácia a falta fase-terra de outras ocorrências. Através dos testes em ambiente controlado, é possível otimizar o funcionamento do sistema, realizar ajustes e refinamentos, bem como assegurar sua operacionalidade confiável e eficiente.

Com a implementação dessa abordagem, o projeto busca alcançar um sistema de detecção de falhas fase-terra altamente confiável e eficaz, fornecendo uma resposta rápida e precisa em situações críticas. Ao minimizar riscos e evitar danos em equipamentos elétricos, essa estratégia contribuirá significativamente para a segurança e estabilidade do sistema elétrico, oferecendo uma solução tecnologicamente avançada e alinhada com as melhores práticas da área.

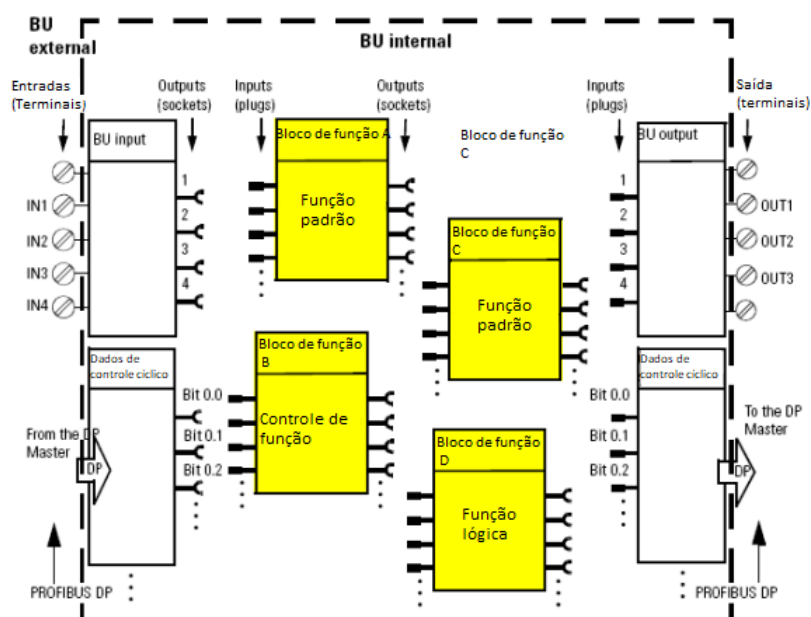
5.2 Programação e parametrização

Como foi descrito na seção 3.4, o SIMOCODE da Siemens utiliza uma linguagem de programação própria chamada "SIMOCODE Pro V" ou "SIMOCODE ES". Essa linguagem é baseada em diagramas de blocos funcionais (*FBD - Function Block Diagram*), que permite a programação de forma gráfica e intuitiva, utilizando elementos como blocos de funções, conexões lógicas e temporizadores, apresentado na Figura 19.

Além disso, o SIMOCODE ES também oferece suporte para a programação em linguagem de contato (*LAD - Ladder Diagram*) e texto seguro (*ST - Structured Text*) conforme a norma IEC 61131-3 (padronização das linguagens de programação para a automação industrial).

A implementação do projeto conta com a vantagem de já ter o SIMOCODE e o módulo de fuga à terra devidamente instalados no sistema elétrico. Agora, o próximo passo crucial é realizar a configuração necessária para que o sistema alcance os objetivos propostos. A lógica de programação desempenha um papel fundamental nesse processo, garantindo que o sistema seja capaz de detectar com precisão a falta fase-terra e diferenciá-la de outras falhas.

Figura 19 – Esquema do Princípio Estrutural de Configuração.



Fonte: SIRIUS – Gerenciamento de Motores, 2007.

6 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Este capítulo é dedicado à descrição dos ajustes realizados nas configurações e na programação do relé para implementação do projeto proposto. Na sequência, são descritos os testes executados no sistema desenvolvido para a detecção de fuga à terra.

6.1 Implementação do projeto

Após a definição da abordagem de programação e parametrização do sistema, tratada no capítulo 5, foi essencial proceder com a configuração efetiva no *software*. Nesta etapa, são apresentados de forma detalhada os passos seguidos, acompanhados de *prints* do *software* com as alterações realizadas.

Os registros visuais, obtidos por meio de *prints*, possibilitam uma compreensão clara e objetiva do processo de configuração. Dessa forma, este trabalho proporciona um guia prático e de referência para futuras implementações semelhantes, contribuindo para o avanço das tecnologias de detecção de falhas elétricas em sistemas de baixa tensão, otimizando a segurança elétrica e reduzindo potenciais riscos operacionais. Ao longo deste capítulo, os leitores são guiados pelos procedimentos de configuração, possibilitando uma implementação bem-sucedida e eficiente do sistema proposto.

Para isso foi necessário realizar o *download* das configurações existentes no equipamento para o *software* para adequar a lógica de programação. Após obter acesso ao programa, foi identificado que, apesar da presença do módulo de fuga à terra na gaveta, como ilustrado na Figura 20, esse componente não estava configurado adequadamente no código original.

A fim de adequar as configurações para a detecção de falta fuga à terra, parâmetros de configuração do módulo foram alterados de forma a fazer com que o Sinaleiro amarelo da gaveta pisque em uma frequência de 1Hz.

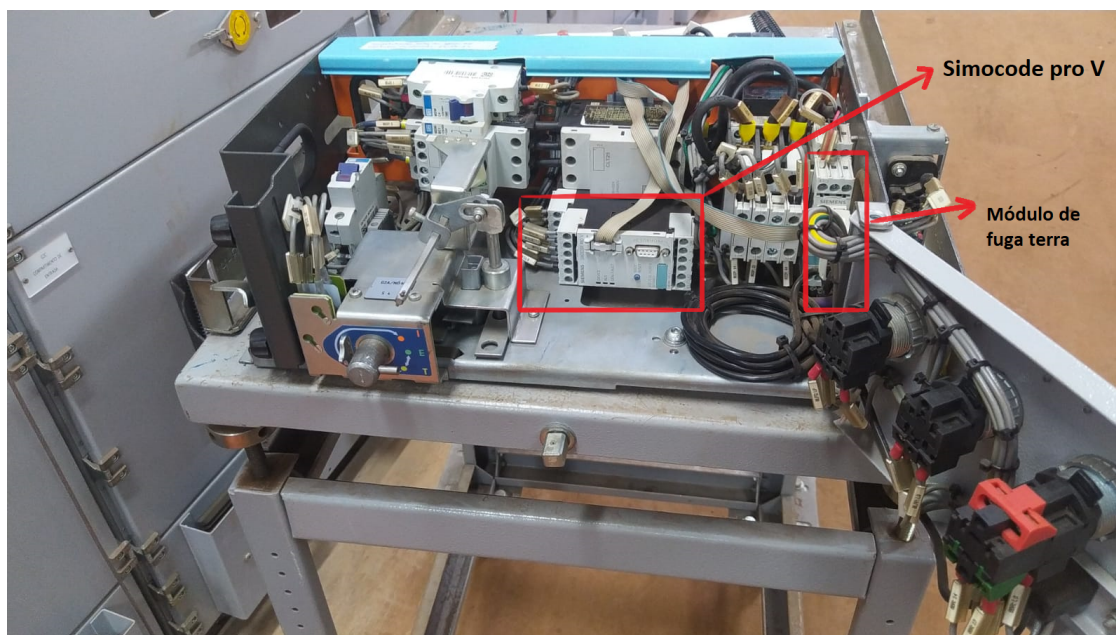
O primeiro passo foi a configuração da unidade *Earth fault* na aba *Monitoring Functions* para *warning* (Figura 21), esse ajuste permite que o equipamento continue operando, somente com um sistema de aviso, ajustado para 0.1s após a detecção da falta.

No projeto, a detecção de uma falta fase-terra é realizada com a observação de um aumento de 20% na corrente do neutro, conforme as configurações do fabricante, já indica a ocorrência de uma possível falta. No entanto, para garantir uma identificação precisa e confiável, o sistema vai além dessa análise inicial.

O sistema de detecção implementado é projetado para verificar, além do aumento da corrente do neutro, o correto funcionamento do barramento e a condição operacional do dispositivo. Esses três sinais devem ser verificados de forma simultânea para confirmar e garantir a detecção efetiva da falta fase à terra.

Somente quando todas as condições são atendidas e os três sinais são verificados, o

Figura 20 – Gaveta de acionamento da bomba.



Fonte: Do autor, 2023

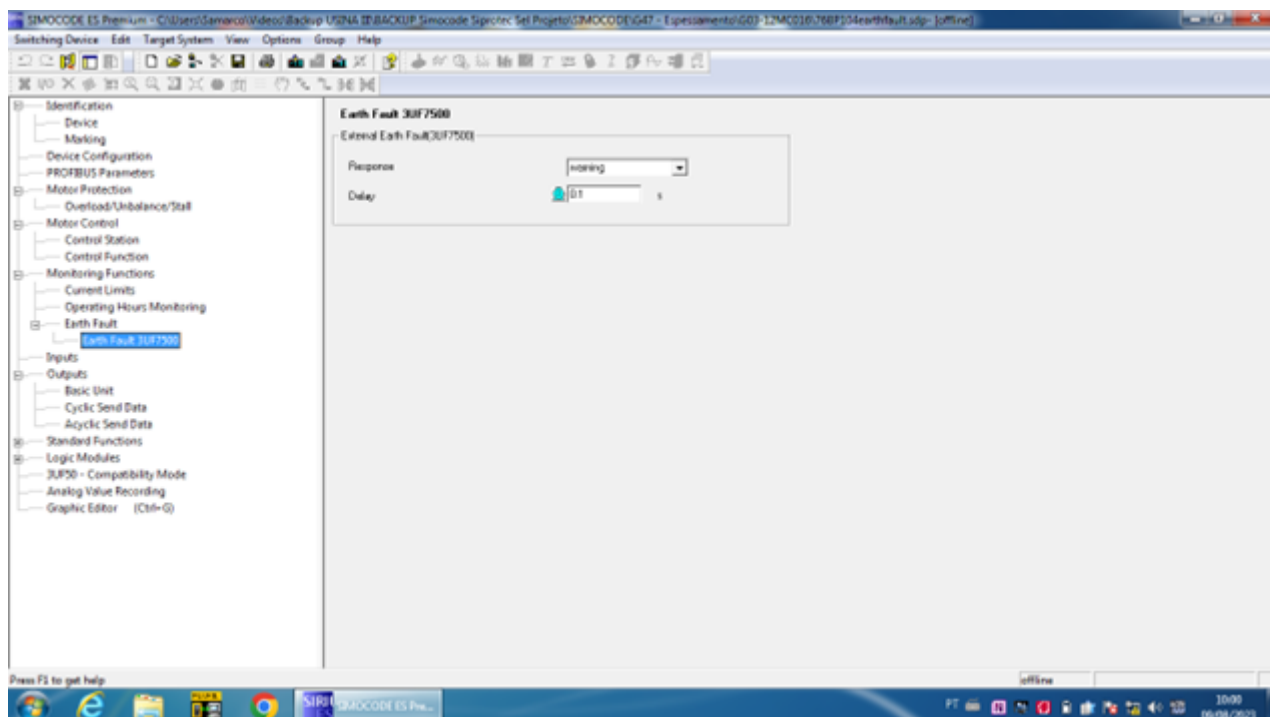
sistema emitirá o sinal de saída em nível lógico alto que permitirá a rápida localização da gaveta onde ocorreu a falha. Essa abordagem torna o sistema mais confiável e preciso, reduzindo a possibilidade de alarmes falsos e garantindo uma resposta rápida e precisa aos eventos de falta fase-terra.

Na aba *Logic modules Turth table 3I 1O*-> configurar *table 2*, conforme figura 22, onde se configura a tabela verdade que verifica se todas os três sinais para indicar ou não a falta.

Uma das decisões importantes na configuração é selecionar o destino da saída da tabela verdade. Com o intuito de possibilitar uma identificação visual rápida e eficiente, optou-se por utilizar o sinaleiro amarelo, que piscará na frequência de 1Hz. Essa escolha permite que a gaveta onde ocorreu a falha seja prontamente identificada, facilitando o processo de manutenção e correção do problema.

O próximo passo envolveu a configuração da saída 2, que até então não estava em uso, de modo que, em caso de detecção de uma falha, essa saída seja ativada para fazer piscar o sinaleiro amarelo, sinalizando assim a ocorrência da falha no equipamento. Esse ajuste foi realizado por meio do software na aba *OUTPUT -> Basic unit* configurar *BU output 2* como *Flashing 2 output*, apresentado na Figura 23.

Além das configurações realizadas no *software*, foi essencial examinar os circuitos do SIMOCODE, apresentado novamente na Figura 24 a fim de determinar as modificações necessárias para garantir o correto funcionamento do projeto. Durante essa análise, foi identificado que a realização de um *jumper* (em vermelho) entre as bornes 2 e 3 do SIMOCODE foi necessário para obter uma sinalização do sinaleiro amarelo em caso de falta à terra. A Figura 20 ilustra a

Figura 21 – Configuração da unidade *Earth fault*.

Fonte: Autoria própria, 2023

gaveta de acionamento do motor, onde o SIMOCODE já está devidamente instalado, e o *jumper* realizado.

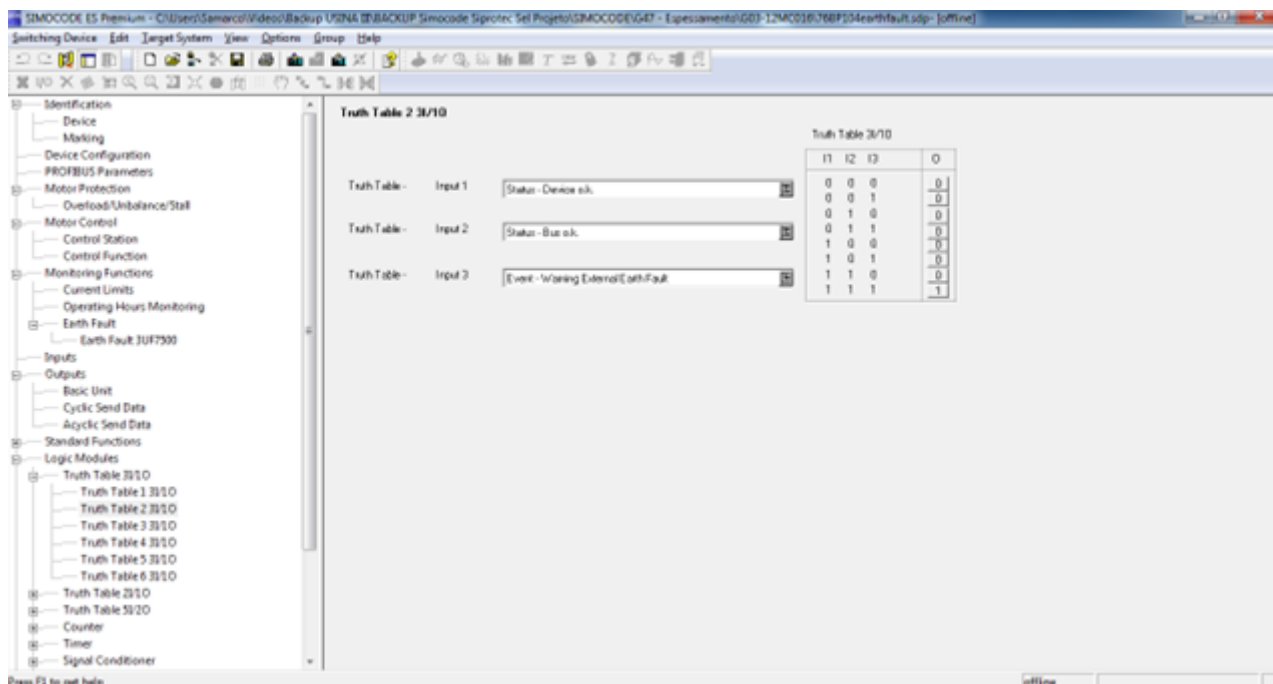
Com essa abordagem, busca-se maximizar a eficiência e agilidade do sistema de detecção de falhas fase-terra, fornecendo aos operadores uma forma clara e intuitiva de localizar e resolver ocorrências. A configuração da lógica de programação aliada à seleção da saída adequada representa uma etapa crucial para a eficácia e sucesso do projeto como um todo.

6.2 Teste do sistema

Nesta seção, é descrito o procedimento de teste adotado para avaliar a eficácia da lógica de programação desenvolvida e o desempenho do relé SIMOCODE pro V na detecção de faltas fase-terra.

Primeiramente, foi preparado um ambiente controlado e seguro para a realização dos testes. Isso envolveu a preparação da gaveta elétrica do motor estudado, conforme descrito na seção 6.1 e a implementação de procedimentos de segurança rigorosos para proteger os técnicos envolvidos nos testes.

Para a simulação de uma falta fase-terra, utilizou-se uma maleta de teste especializada, a Omicron CMC 356, conforme ilustrado na Figura 25. Esta maleta representa uma ferramenta de teste de relés universal e altamente versátil, comumente empregada no comissionamento de

Figura 22 – configuração da *table 2*.

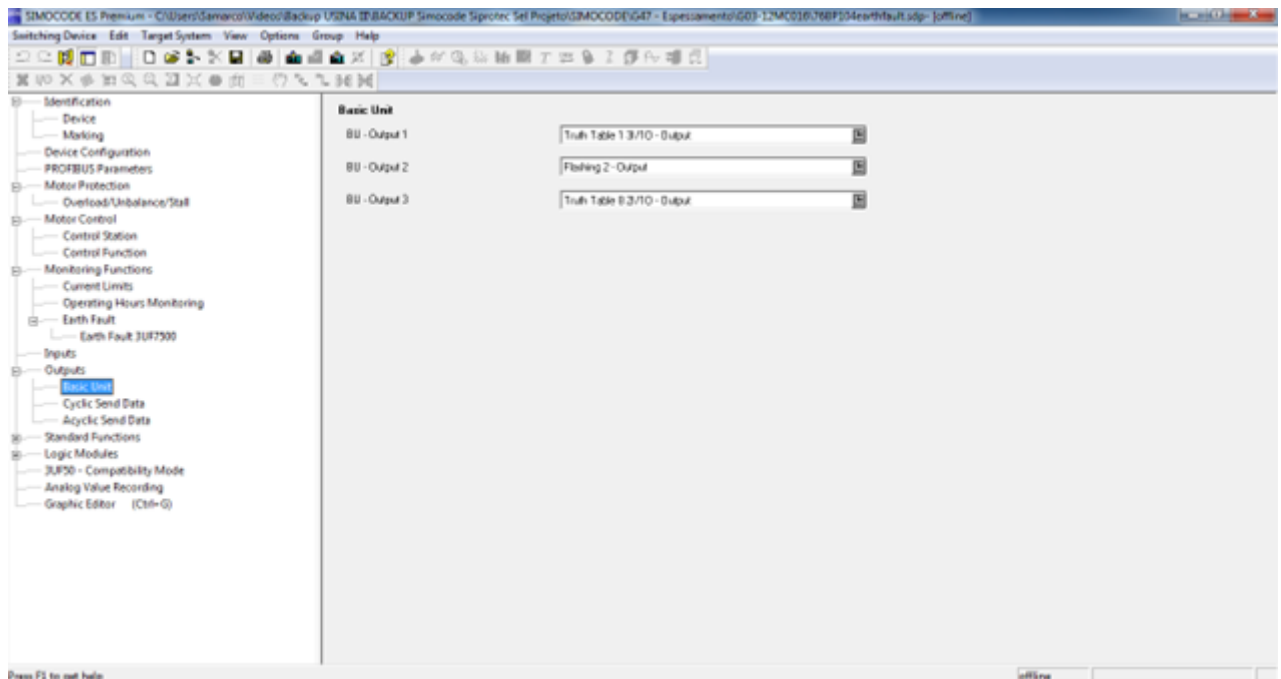
Fonte: Do autor, 2023

subestações elétricas. Sua flexibilidade permite a realização de uma variedade de testes que contribuem para a integridade e segurança do sistema elétrico (ENERGY., 2023).

O módulo de fuga à terra se baseia na identificação do desbalanço de corrente por meio de um transformador toroidal, pois uma das formas de identificar fuga de corrente utiliza uma medição indireta deste desequilíbrio, que é feita através de um transformador de corrente do tipo janela ou toroidal, envolvendo as três fases como demonstrado na Figura 26. Uma vez que haja uma fuga de corrente para a terra, o desequilíbrio do campo magnético trifásico faz surgir uma componente de sequência zero que faz circular uma corrente proporcional no sensor TC que é detectada pelo relé inteligente.

Esta medição de assimetria de corrente exige alta sensibilidade e estão propensos a desligamentos indesejados, devido a correntes de partida e de comutação para grandes cargas, ao desbalanço natural da alimentação no sistema elétrico e, principalmente, devido a circulação de correntes oriundas de componentes capacitivas, intrínsecas em instalações industriais (SOARES, 2022).

Optou-se por induzir uma corrente controlada e monitorada de 3A com a ajuda de uma maleta de teste, a fim de simular esse desequilíbrio no campo magnético trifásico. Os testes foram realizados em uma gaveta de teste extraída, onde foi alimentado o SIMOCODE com a tensão de 127V. É importante destacar que, para simplificar a programação e focar apenas no parâmetro de detecção de falta à terra, ajustou-se as configurações antes do teste para verificar o funcionamento do módulo de detecção de falta à terra.

Figura 23 – configuração *output* 2.

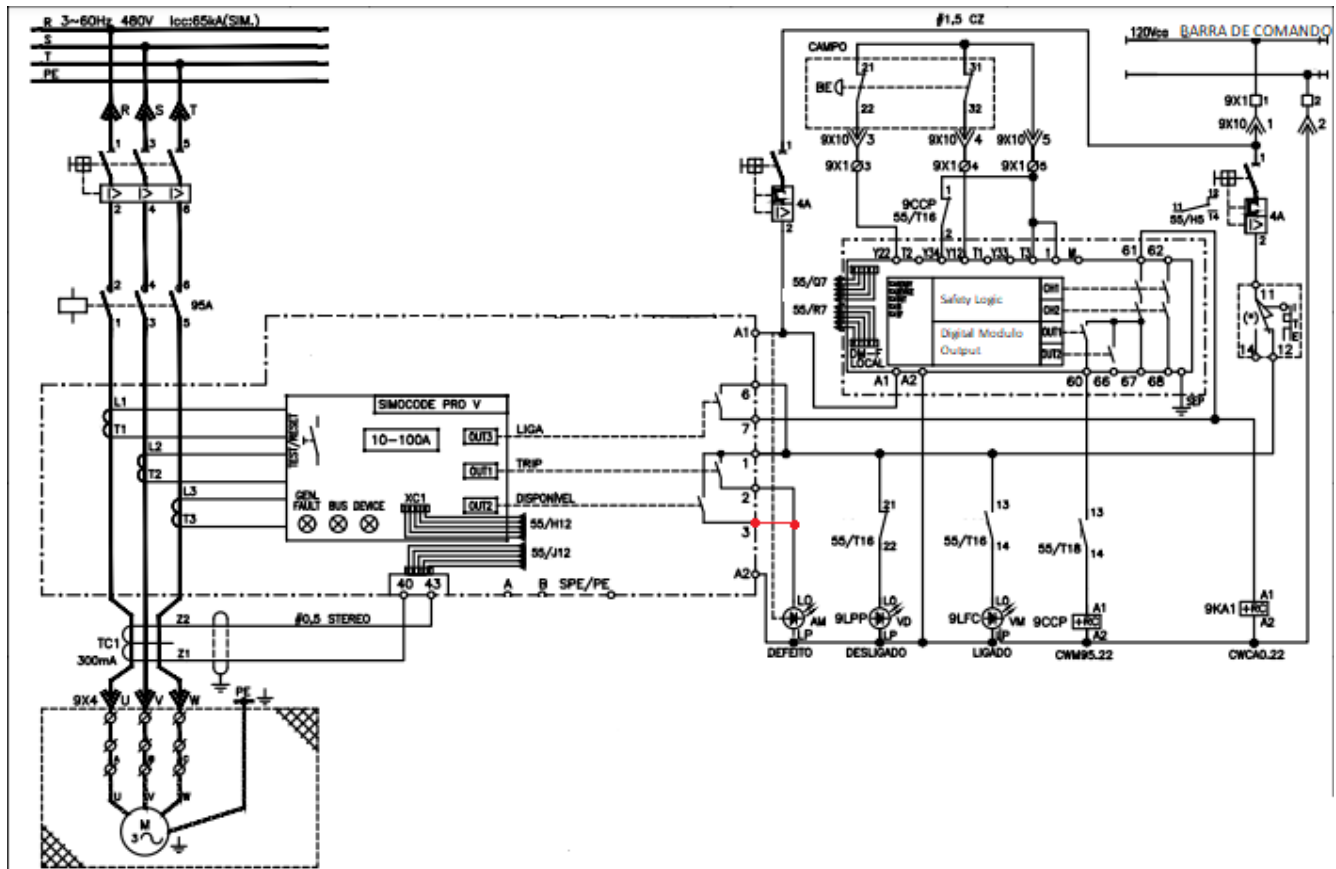
Fonte: Do autor, 2023

Através dessa simulação, é possível avaliar a capacidade do relé SIMOCODE pro V em identificar, sinalizar e responder adequadamente a uma falta fase-terra simulada. Essa avaliação é fundamental para garantir o desempenho eficaz do sistema em situações reais de falha elétrica.

O procedimento de teste foi projetado para verificar a capacidade do relé SIMOCODE pro V em identificar, sinalizar e reagir a uma falta fase-terra simulada. O teste envolveu as seguintes etapas:

1. Configuração do SIMOCODE - O relé SIMOCODE foi configurado de acordo com a lógica de programação desenvolvida, que inclui os parâmetros de detecção de faltas fase-terra;
2. Indução da Falta - Para simular uma falta fase-terra, ajustou-se a maleta de teste *Omicron CMC 356* para induzir uma corrente alternada de 3A na fase R do sistema elétrico;
3. Monitoramento e Detecção - Durante a fase de teste, o SIMOCODE pro V monitorou continuamente as condições da rede elétrica, incluindo a corrente de falta. A detecção da falta foi acompanhada em tempo real;
4. Sinalização e Resposta - Quando a falta foi identificada, o relé SIMOCODE ativou o sinalizador amarelo piscante na gaveta do motor onde a falta estava sendo simulada, sinalizando a ocorrência da falta.

Figura 24 – Representação do jumper no circuito.



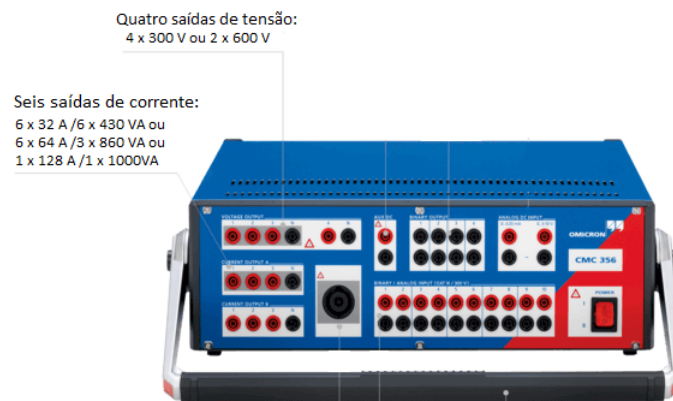
Fonte: Do autor, 2023

Os resultados dos testes foram cuidadosamente analisados para avaliar a capacidade do sistema em identificar e sinalizar faltas fase-terra. Isso incluiu a análise da rapidez e precisão da detecção, bem como a eficácia da sinalização visual na localização da falha, como será discutido no próximo capítulo.

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir se a lógica de programação e a configuração do relé SIMOCODE pro V atendem aos objetivos de detecção de faltas fase-terra de forma eficaz e confiável.

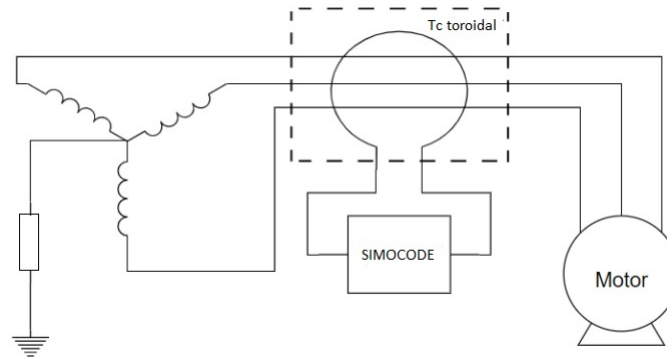
Todos os ajuste e melhoria realizada no sistema foi identificado e documentado para futuras considerações, assegurando que as informações relevantes estejam devidamente registradas e disponíveis para referência e tomada de decisão. Isso não apenas promove a transparência e a rastreabilidade das mudanças realizadas, mas também facilita a comunicação entre os membros da equipe, aumentando a capacidade de reproduzir com sucesso procedimentos bem-sucedidos e evitando erros. Além disso, a documentação adequada contribui para a capacitação de novos membros da equipe, permitindo que eles compreendam e sigam os padrões estabelecidos, reduzindo assim o tempo de adaptação e a possibilidade de falhas

Figura 25 – Maleta de Testes - Omicron CMC 356



Fonte: (ENERGY., 2023)

Figura 26 – Esquema de ligação do módulo de detecção de falta à terra.



Fonte: Do autor, 2023

Esta seção de teste é essencial para validar a funcionalidade do projeto e garantir sua eficácia na detecção de faltas elétricas fase-terra em ambientes industriais.

7 RESULTADOS

Após a implementação das configurações e a integração dos equipamentos necessários, foram realizados testes para avaliar o desempenho e a eficácia do sistema de detecção de fuga à terra. Os testes foram executados na gaveta de teste extraída, onde foi alimentado o SIMOCODE com a tensão de 127V e com a maleta de teste foi induzida uma corrente de 3A, é importante ressaltar que, para a realização do teste a programação precisou ser simplificado levando em consideração apenas o parâmetro *earth fault* para verificar o funcionamento do módulo de detecção de falta-terra.

Os resultados obtidos foram positivos e confirmaram a robustez e a precisão do sistema implementado. Em todos os testes, o sistema de detecção foi capaz de identificar com sucesso as faltas fase-terra e ativar a sinalização visual através do sinaleiro amarelo piscante na frequência de 1Hz. Essa melhoria significativa na rapidez de localização da falha, em comparação com o método de pesquisa anterior, destaca a eficácia do projeto em otimizar o tempo de resposta. Diante desses resultados promissores, sugere-se fortemente a implementação abrangente desse projeto em todos os motores, visando não apenas a segurança aprimorada, mas também a eficiência operacional em toda a infraestrutura elétrica.

Esses resultados validaram a abordagem escolhida para a detecção de fuga à terra e demonstraram que a combinação dos critérios de análise, a configuração adequada do *software* e a integração com o SIMOCODE foram fundamentais para o sucesso do projeto. A implementação bem-sucedida do sistema de detecção proporcionou uma camada adicional de segurança ao sistema elétrico, minimizando os riscos de falhas e garantindo um ambiente de operação mais confiável e protegido.

Portanto, pode-se concluir que todos os testes realizados confirmaram a eficácia do sistema de detecção de fuga à terra, validando os objetivos estabelecidos no projeto e reforçando a importância da abordagem adotada para a segurança e a integridade do sistema elétrico.

8 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo deste trabalho, foi apresentado e implementado com sucesso um sistema de detecção de faltas à terra em gavetas de 480V utilizando o relé inteligente SIMOCODE. O objetivo principal era solucionar a dificuldade de identificação dessas falhas, garantindo maior segurança e eficiência elétrica nas instalações.

Os resultados obtidos durante os testes indicam a eficácia do sistema implementado. A lógica de programação, fluxogramas e tabelas de lógica foram fundamentais para a correta detecção das faltas à terra, permitindo uma resposta rápida e precisa aos eventos de falha. As capturas de tela da interface do *software* de programação SIMOCODE também evidenciaram as configurações adequadas realizadas para cada cenário.

O cumprimento dos objetivos estabelecidos foi alcançado, e o sistema demonstrou-se capaz de identificar as faltas à terra com alta confiabilidade. Os dispositivos de sinalização acionados pelo sistema de detecção, como os sinaleiros amarelos piscantes, fornecem uma sinalização clara e imediata sobre o equipamento afetado, possibilitando intervenções rápidas e efetivas por parte da equipe de manutenção.

Essa solução não apenas mitigou o problema da dificuldade de identificação de faltas à terra, mas também promoveu um ambiente mais seguro e protegido contra danos elétricos. A aplicação prática do projeto nas instalações elétricas da empresa demonstrou seu impacto positivo, reduzindo o tempo de identificação do equipamento com falha e consequentemente custos de manutenção, aumentando a produtividade e evitando riscos para a integridade dos equipamentos e dos trabalhadores, que anteriormente precisavam se expor a riscos pois não era possível identificar em qual equipamento estava com defeito, sendo necessário o desligamento dos equipamentos individualmente ou medição com amperímetro analógico para identificar o equipamento danificado.

Em conclusão, a implementação do sistema de detecção de faltas à terra utilizando o relé inteligente SIMOCODE mostrou-se uma solução eficaz para a empresa e uma contribuição significativa para a área de engenharia elétrica. A importância da aplicação de normas e regulamentos relacionados à segurança elétrica foi fundamental para o sucesso do projeto, garantindo um ambiente de trabalho seguro e confiável. Espera-se que este trabalho possa inspirar outros profissionais e pesquisadores a explorar ainda mais as possibilidades de aprimorar sistemas elétricos por meio de tecnologias inovadoras e práticas seguras.

8.1 Trabalhos Futuros

Uma das formas de aprimorar ainda mais o sistema de detecção de faltas à terra implementado é a adição de uma sinalização sonora para os equipamentos mais críticos, a fim de alertar prontamente a equipe de manutenção sobre a ocorrência de uma falha elétrica. Essa sugestão tem como objetivo proporcionar uma resposta ainda mais rápida e eficiente às situações de risco,

minimizando possíveis danos e interrupções nas atividades produtivas.

A implementação de uma sinalização sonora complementar se mostra relevante principalmente nos equipamentos de maior importância estratégica ou de alto valor agregado para a empresa. Ao detectar uma falha à terra em um desses equipamentos críticos, o sistema poderá acionar um alarme sonoro, audível em locais estratégicos, alertando imediatamente a equipe de manutenção responsável.

A implementação de um sistema de sinalização sonora trará significativos benefícios para o nosso ambiente de trabalho:

Ao fornecer uma resposta imediata, o alerta sonoro permitirá que a equipe de manutenção aja com agilidade. Isso se traduzirá em desligamentos rápidos dos equipamentos afetados, evitando a ampliação das falhas.

Adicionalmente, teremos um aumento da segurança. A sinalização sonora contribuirá para um ambiente mais seguro, alertando os funcionários sobre a presença de uma falha elétrica. Esse alerta imediato possibilitará a rápida adoção de procedimentos de segurança, fortalecendo as medidas preventivas em nossa operação.

Para implementar essa sugestão, será necessário avaliar a viabilidade técnica e econômica de integração dos alarmes sonoros com o sistema de detecção de faltas à terra já existente. Será importante definir critérios para a seleção dos equipamentos críticos que receberão a sinalização sonora e determinar os tipos de alarmes mais adequados para cada cenário.

É relevante também conduzir testes e simulações para verificar a eficiência da sinalização sonora em diferentes situações de falhas elétricas. Além disso, é fundamental garantir que a implantação dos alarmes sonoros esteja em conformidade com as normas e regulamentos de segurança elétrica.

Com a incorporação da sinalização sonora aos equipamentos mais críticos, o sistema de detecção de faltas à terra será ainda mais completo e eficiente, oferecendo uma solução abrangente para a prevenção e resposta rápida a possíveis falhas elétricas. Essa iniciativa representa uma importante contribuição para a segurança e eficiência energética nas instalações elétricas de baixa tensão, beneficiando tanto a empresa quanto seus colaboradores e clientes.

Uma outra sugestão para melhoria futura é a integração completa e atualização das modificações nos sistemas de supervisão e controle existentes na infraestrutura elétrica da empresa. Essa integração permitirá não apenas a detecção rápida de falhas à terra, mas também a obtenção de dados em tempo real sobre o desempenho do sistema elétrico como um todo.

A integração com sistemas de supervisão e controle fornecerá à equipe de manutenção e aos engenheiros eletricitas informações detalhadas sobre o estado das redes elétricas em toda a instalação. Isso inclui não apenas a detecção de falhas, mas também a capacidade de rastrear tendências de consumo, eficiência energética e manutenção preventiva.

Além disso, essa análise mais abrangente das condições do sistema elétrico ajudará a empresa a tomar decisões informadas sobre otimização de recursos e redução de custos operacionais. A capacidade de receber alertas em tempo real e visualizar dados históricos facilitará a identificação de áreas que podem exigir melhorias ou atualizações. No geral, a integração com sistemas de supervisão e controle representará um passo importante em direção à automação e à gestão proativa da infraestrutura elétrica, contribuindo para uma operação mais eficiente e confiável.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. **SIMOCODE PRO - O relé inteligente Siemens - Controle e Proteção Elétrica - Siemens Brasil**. 2023. <<https://www.siemens.com/br/pt/empresa/stories/energia/controle-e-protecao-eletrica/simocode-pro-o-rele-inteligente-siemens.html>>. (Acessado em 07/05/2023). Citado 3 vezes nas páginas 33, 34 e 35.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 1-217 p. Citado 4 vezes nas páginas 17, 18, 19 e 36.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749**: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo de aterramento. Rio de Janeiro, 2009. 1-54 p. Citado na página 36.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015. 1-32 p. Citado na página 36.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117-1**: Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos parte 1: Medição da resistividade e modelagem geoeletrica. Rio de Janeiro, 2020. 1-7 p. Citado na página 36.
- BERNARDI, G. d. A. F. Aterramento de neutro em subestações industriais e suas implicações no sistema de proteção. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- CAPELLI, A. Aterramento elétrico. **Saber Eletrônica**, v. 329, p. 56–59, 2000. Citado na página 17.
- COSTA, P. F. Capítulo i escolha do tipo de resistor de aterramento do neutro em sistemas elétricos industriais. **Revista O Setor Elétrico, Setembro 2014.**, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 14, 21, 22, 23, 29 e 31.
- COSTA, P. F. Capítulo iii-avanços na especificação e aplicação dos resistores de aterramento do neutro dos sistemas elétricos industriais em baixa tensão. **Revista O Setor Elétrico, Setembro**, v. 1, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 22, 31 e 32.
- COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. [S.l.]: Mcgraw-Hill do Brasil, 2003. Citado na página 27.
- COURY, D. V.; OLESKOVICZ, M.; GIOVANINI, R. **Proteção digital de sistemas elétricos de potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessados inteligentes**. [S.l.]: SEL/EESC/USP, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- CREDER, H. **Instalações elétricas**. [S.l.]: Livros Tecnicos e Cientificos, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- DIAS, G. A. D. **Harmônicas em sistemas industriais**. [S.l.]: Edipucrs, 2002. Citado na página 48.
- EMPREGO, M. do Trabalho e. **Normas Regulamentadoras - NR**. 2023. [Urlhttps://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs](https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs). Citado na página 37.
- ENERGY., O. **CMC 356: The Universal Relay Test Set and Commissioning Tool**. 2023. <<https://www.omiconenergy.com/pt/produtos/cmc-356/>>. (Accessed on 04/09/2023). Citado 2 vezes nas páginas 54 e 57.

GOMES, F. M.; PEREIRA, K.; BENDER, C. A. H. Supervisão de corrente de fuga e falhas de isolamento: Aumento da segurança elétrica preditiva e redução de acidentes. In: IEEE. **ESW-Brasil 2023- A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho**. [S.l.], 2023. p. 1–9. Citado 4 vezes nas páginas 14, 17, 21 e 23.

INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS. **IEEE 32**: Requirements, terminology, and test procedure for neutral grounding devices. Rio de Janeiro, 1972. 1-7 p. Citado na página 24.

LACERDA, S. L. M.; CARNEIRO, G. H. R. Dispositivos eletrônicos inteligentes (ied's) e a norma iec 61850: União que está dando certo. **João Pessoa**, 2008. Citado na página 29.

LITTELFUSE. **SE-330 MANUAL NEUTRAL-GROUNDING-RESISTOR MONITOR**. 2023. [Urlhttp://https://m.littelfuse.com/media/files/littelfuse/technical-resources/documents/product-manuals/content/littelfuse_protectionrelays_e330_manual_new_revision.pdf](http://https://m.littelfuse.com/media/files/littelfuse/technical-resources/documents/product-manuals/content/littelfuse_protectionrelays_e330_manual_new_revision.pdf). Citado na página 24.

NORMA REGULAMENTADORA 10. **NR 10**: Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Rio de Janeiro, 2019. 1-18 p. Citado 5 vezes nas páginas ix, 30, 32, 36 e 38.

NORMA REGULAMENTADORA 12. **NR 12**: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Rio de Janeiro, 2022. 1-165 p. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 38.

OLIVEIRA, W. L. de; FERREIRA, M. V. C. Estudo de modernização do sistema de proteção de subestações para distribuição de energia elétrica. **Journal of Innovation and Science: research and application**, v. 2, n. 1, p. 20–p, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 37.

ROBERTS, J. et al. Análise dos métodos de proteção contra faltas à terra nos sistemas de distribuição aterrados, não aterrados e compensados. **Publicação Técnica da Schweitzer Engineering Laboratories–SEL**, 2001. Citado na página 38.

SATTARI, P.; PANETTA, S. High reliability electrical distribution system for industrial facilities. In: IEEE. **2018 IEEE/IAS 54th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)**. [S.l.], 2018. p. 1–6. Citado na página 37.

SOARES, L. d. O. Detecção de motor com fuga à terra em sistemas de baixa tensão de neutro aterrado com resistor de alto valor utilizando aprendizado máquina. Serra, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 54.