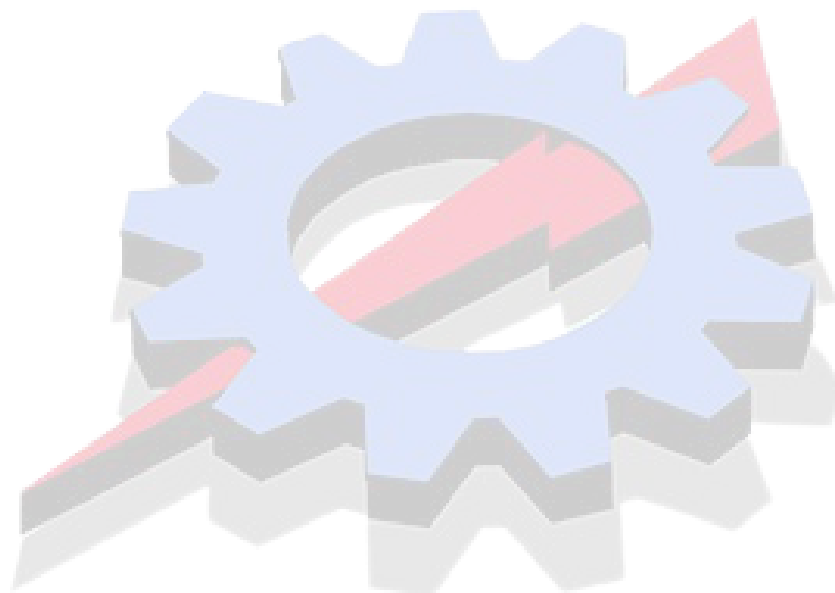


ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA



**MATHEUS DOS REIS BUENO
NATÃ SALVATERRA LEITE
PAULO JÚNIOR CHIES MARION**

**SÃO LEOPOLDO
2025**

MATHEUS DOS REIS BUENO
NATÃ SALVATERRA LEITE
PAULO JÚNIOR CHIES MARION

DISPOSITIVO DETECTOR DE ROMPIMENTO DE CABOS

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
Técnico apresentado ao Curso de
Eletromecânica da Escola Técnica Estadual
Frederico Guilherme Schmidt como requisito
para aprovação nas disciplinas do curso sob
orientação do/a professor/a Linamir Rosa e
coorientação do/a professor/a Thiago
Lucena Schmidt

CIDADE

ANO

RESUMO

O rompimento de cabos elétricos constitui uma das principais causas de falhas em sistemas de transmissão e distribuição de energia, impactando diretamente a confiabilidade operacional, a segurança das instalações e a continuidade de serviços essenciais. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo inteligente para detecção de cabos rompidos, com aplicação em ambientes industriais e urbanos, onde a manutenção preditiva e corretiva desempenha papel estratégico. A pesquisa fundamenta-se em revisão bibliográfica, análise comparativa de tecnologias e estudo de soluções já consolidadas, destacando lacunas de desempenho e acessibilidade. O sistema proposto integra técnicas de reflectometria no domínio do tempo (*TDR* e *OTDR*), sensores baseados em Internet das Coisas (*IoT*) e magnetômetros de campo, possibilitando a localização precisa de falhas e o monitoramento remoto por meio de comunicação sem fio (*Bluetooth* ou *Wi-Fi*). A metodologia contemplou a definição de requisitos técnicos, modelagem de circuitos em software de simulação, montagem de protótipo em bancada e ensaios experimentais sob diferentes condições de operação. O protótipo incorpora indicadores visuais e sonoros, com tempo de resposta inferior a um segundo e funcionamento em redes de baixa tensão, demonstrando potencial para reduzir significativamente o tempo de diagnóstico e os custos associados às manutenções corretivas. Os resultados esperados indicam a viabilidade técnica e econômica da solução proposta, reforçando sua contribuição para a segurança operacional, a otimização de processos de manutenção e o avanço tecnológico no setor eletromecânico.

Palavras-chave: cabos elétricos; detecção de falhas; reflectometria; *IoT*; manutenção preditiva.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A legenda deve descrever o que a figura apresenta.

12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma

14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
CNI	Confederação Nacional da Indústria
ANE	Agência Nacional de Energia
EL	Elétrica
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volts
kV	kiloVolts

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	9
1.2 PROBLEMA	9
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 Objetivo Geral	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
1.4 JUSTIFICATIVA	10
2. ESTADO DA ARTE	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
4. METODOLOGIA	13
4.1 TIPO DE PESQUISA	13
4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES	13
4.3 ESQUEMA ELÉTRICO	13
4.4 PROGRAMAÇÃO	13
5. CRONOGRAMA	14
6. RECURSOS	16
7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS	17
REFERÊNCIAS	18
ANEXOS	19

1. INTRODUÇÃO

A interrupção no fornecimento de energia elétrica ou na transmissão de dados, causada por rompimentos em cabos, representa um problema recorrente e de grande impacto em diversos setores, como a indústria, telecomunicações, infraestrutura urbana e serviços essenciais. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), mais de 60% das interrupções no fornecimento de energia elétrica no Brasil estão relacionadas a falhas na rede de distribuição, muitas vezes causadas por rompimentos de cabos devido a intempéries, acidentes ou desgaste natural dos materiais. A identificação rápida e precisa do ponto de falha é fundamental para garantir a segurança, a eficiência operacional e a redução de custos com manutenções corretivas e preventivas. Fonte de pesquisa: Confederação nacional da indústria (CNI). Dessa forma, no presente trabalho será desenvolvido um dispositivo detector de cabos rompidos, que integra tecnologias como *TDR* (*Time Domain Reflectometry*), *OTDR* (*Optical Time Domain Reflectometry*), sensores *IoT* (*dispositivos que coletam e transmitem dados*) e magnetômetros de campo. Esses componentes atuam de forma combinada para localizar com exatidão o ponto de ruptura dos cabos e transmitir as informações para um painel digital, com possibilidade de monitoramento remoto via conexão *Bluetooth* ou *Wi-Fi*. O objetivo principal é construir um sistema funcional e acessível, capaz de otimizar processos de manutenção, minimizar riscos à segurança, como choques elétricos e incêndios.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Desenvolvimento de um sistema inteligente para detecção de cabos rompidos utilizando tecnologias *TDR*, *OTDR* e sensores *IoT* aplicados à manutenção de redes elétricas. A aplicação do sistema será voltada para ambientes industriais e urbanos, onde a manutenção preditiva e corretiva de redes elétricas é essencial para garantir segurança operacional, reduzir custos e minimizar interrupções no fornecimento de energia.

1.2 PROBLEMA

Em sistemas elétricos industriais, residenciais ou de infraestrutura urbana, a integridade dos cabos é essencial para o funcionamento seguro e contínuo dos equipamentos e processos. No entanto, o rompimento de cabos elétricos ainda representa um desafio recorrente, podendo causar desde a paralisação de máquinas até quedas de energia em larga escala. A identificação manual do ponto exato de rompimento é, na maioria das vezes, um processo lento e impreciso, exigindo mão de obra especializada, testes sucessivos e, em alguns casos, substituições desnecessárias de cabos em boas condições. Além disso, a demora na detecção pode acarretar prejuízos econômicos, operacionais e até riscos à segurança. Diante disso é possível desenvolver um dispositivo capaz de detectar, em tempo real, o rompimento de cabos elétricos, de forma eficiente, precisa e economicamente viável, contribuindo para a redução de custos de manutenção, aumento da segurança e agilidade na tomada de decisão?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema inteligente de detecção de cabos rompidos, integrando tecnologias como TDR (*Time Domain Reflectometry*) , OTDR (*Optical Time Domain Reflectometry*), sensores *IoT* e magnetômetros de campo, com o propósito de localizar falhas com precisão em redes elétricas, otimizando os processos de manutenção, reduzindo riscos operacionais e contribuindo para a eficiência e segurança no fornecimento de energia elétrica em ambientes industriais e urbanos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Pesquisar os principais fatores que causam rompimentos em cabos elétricos e os impactos dessas falhas nos sistemas de distribuição de energia.

Estudar o funcionamento e a aplicação das tecnologias *TDR (Time Domain Reflectometry)*, *OTDR (Optical Time Domain Reflectometry)*, sensores IoT e magnetômetros de campo em sistemas de detecção de falhas elétricas.

Projetar um sistema integrado capaz de identificar com precisão pontos de ruptura em cabos elétricos.

Construir um protótipo funcional do dispositivo de detecção, com capacidade de monitoramento remoto via *Bluetooth* ou *Wi-Fi*.

Testar e avaliar o desempenho do sistema desenvolvido em condições simuladas de falha, observando sua eficácia, precisão e confiabilidade.

Analisar os benefícios da aplicação do sistema para a manutenção preditiva e corretiva em redes elétricas, especialmente em ambientes industriais e urbanos

.

1.4 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema justifica-se pela importância da detecção rápida e precisa de cabos rompidos em redes elétricas e de comunicação, visto que falhas nesses sistemas podem causar interrupções no fornecimento de energia, perda de dados e falhas operacionais em diversos setores, como indústria, telecomunicações e infraestrutura. Além disso, cabos rompidos representam riscos à segurança, podendo causar choques elétricos e incêndios. As normas técnicas usadas para este tipo de operação são: NBR 14039 - instalações elétricas de média tensão; NBR 13570 - Proteção contra incêndio em instalações elétricas.

2. ESTADO DA ARTE

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação	Descrição do Projeto
Ez-Thump 12 kV	Megger	2019	Em 2019, a Megger lançou o EZ-Thump 12 kV, um equipamento portátil para localizar falhas em redes de média tensão. Ele faz testes de resistência de isolamento, pré-localização de falhas e avaliação de bainhas de cabos, sendo utilizado tanto em concessionárias quanto na indústria.
Smart Thump ST16-20	Megger	2020	Em 2020, chegou o Smart ST 16-20, um sistema veicular que automatiza o processo de pré-localização e localização de falhas, aumentando a eficácia e a segurança das equipes de manutenção, principalmente em redes subterrâneas.
IRG 4000	BAUR	2021	Em 2021, o IRG 4000, da BAUR, trouxe um reflectômetro de alta precisão

			destinado a redes de longa distancia. Portátil e de fácil uso, ele proporciona diagnósticos rápidos e confiáveis, sendo ideal para redes de transmissão e distribuição complexas.
Centrix Evolution	Megger	2021	Ainda em 2021, a Megger lançou o Centrix Evolution, um laboratório móvel centralizado que cobre várias funções, como localização de falhas, testes de isolamento e medições dielétricas, aumentando o controle, a eficácia e a velocidade nas intervenções.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A detecção precoce de falhas em sistemas elétricos é fundamental para garantir a segurança, a continuidade operacional e a redução de custos com manutenção corretiva. Em especial, o rompimento de cabos elétricos pode acarretar sérios prejuízos, como interrupção do fornecimento de energia, danos a equipamentos, riscos de curtos-circuitos, incêndios e falhas em processos automatizados. Diante disso, torna-se imprescindível o desenvolvimento de dispositivos inteligentes capazes de identificar e localizar rapidamente tais falhas.

Pesquisadores como Sahar Hassani e Ulrike Dackermann, da Universidade de New South Wales, destacam a importância da aplicação de sensores avançados para o monitoramento contínuo de infraestruturas elétricas, com uso de técnicas de ensaios não destrutivos (ENDs). Essas técnicas permitem identificar anomalias sem a necessidade de desmontagem ou interrupção do funcionamento do sistema, otimizando o processo de manutenção e reduzindo riscos operacionais.

Entre as tecnologias utilizadas, destacam-se os sensores de fibra óptica, que funcionam por meio da variação do índice de refração da luz em função de deformações mecânicas ou variações de temperatura. Quando ocorre uma ruptura no cabo, essa alteração é captada pela fibra óptica, permitindo a detecção precisa do ponto de falha. Outra solução relevante é o uso de sensores de corrente (como sensores Hall ou transformadores de corrente), que monitoram a passagem de corrente elétrica nos cabos e podem identificar interrupções instantaneamente com base em quedas abruptas de fluxo.

Além disso, instituições como o IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) reforçam a importância da padronização e pesquisa contínua nessa área. Normas como a IEEE 400 (relacionada a testes em cabos de potência) e a NR-10 (Norma Regulamentadora de Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) são fundamentais para orientar o uso seguro e eficiente desses sistemas em ambientes industriais e técnicos.

O dispositivo detector de rompimentos de cabos foi projetado para funcionar de forma simples e eficiente, inspirado no princípio de funcionamento de uma chave de teste. Ao ser encostada em um ponto do cabo ou borne de conexão, a ponta de prova detecta a presença (ou ausência) de tensão elétrica. Caso o cabo esteja rompido, o circuito interno não receberá sinal elétrico, acionando automaticamente um alerta visual (LED vermelho).. Caso a tensão esteja presente, um LED verde acenderá, indicando que o cabo está intacto. Esse funcionamento direto e intuitivo permite que o operador identifique rapidamente falhas em instalações elétricas com segurança e praticidade.

O protótipo será construído como um dispositivo portátil, leve e de fácil manuseio, utilizando materiais acessíveis e componentes eletrônicos simples. A estrutura será composta por uma haste plástica isolante com ponta metálica sensora, um buzzer piezoelétrico, dois LEDs (verde e vermelho), resistores e uma bateria interna (como uma célula 9V) para alimentação do circuito. Todo o sistema será montado em uma pequena placa protoboard ou circuito impresso (PCB), abrigado dentro de um corpo compacto semelhante a uma chave de teste tradicional. Essa solução visa facilitar testes rápidos em campo, principalmente em locais de difícil acesso, garantindo praticidade ao profissional técnico.



Detector de Rompimento de Cabos

(Imagem gerada por IA)

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada consiste em uma pesquisa aplicada, experimental e exploratória, voltada ao desenvolvimento de um dispositivo para detecção de rompimento de cabos elétricos. O processo inicia-se com a investigação bibliográfica e documental sobre falhas em cabos, suas causas, impactos e tecnologias de monitoramento, servindo de base para a definição dos requisitos técnicos do protótipo.

Em seguida, os circuitos eletrônicos são elaborados e simulados em softwares CAD, permitindo prever o comportamento do sistema e corrigir falhas antes da montagem prática. Na etapa seguinte, ocorre a construção do protótipo funcional, utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e fácil aquisição, como sensores de corrente e tensão, microcontroladores (Arduino Uno ou ESP 32), LEDs, buzzer e elementos de proteção. O dispositivo será projetado para operar em redes de baixa tensão (até 220 V), com tempo de resposta inferior a um segundo, emitindo alertas visuais e sonoros, além da possibilidade de integração a sistemas externos ou monitoramento remoto.

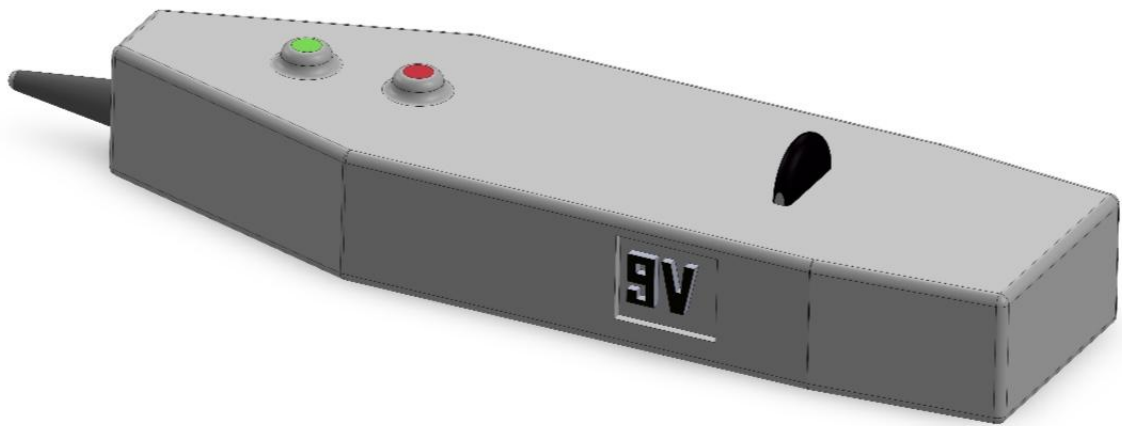
Os testes serão realizados em duas fases: em bancada, sob condições controladas, e em campo, em situações reais de operação. Serão avaliados parâmetros como sensibilidade dos sensores, tempo de resposta, confiabilidade frente a interferências eletromagnéticas, taxa de falsos positivos e negativos, além da resistência a variações de temperatura e vibração. A análise combina dados quantitativos (medidas de desempenho) e qualitativos (usabilidade e aplicabilidade do sistema), possibilitando comparar o dispositivo a métodos tradicionais de detecção. O desenvolvimento está planejado para todo o ano letivo de 2025, distribuído em quatro etapas: (1) pesquisa bibliográfica e definição dos requisitos técnicos; (2) elaboração e simulação de circuitos; (3) montagem do protótipo e ensaios de bancada; e (4) testes em campo, análise dos resultados e finalização do relatório. O projeto seguirá normas técnicas e regulamentações como ABNT NBR 5410, NR-10, IEC 60228 e NBR ISO/IEC 17025, assegurando conformidade, segurança e confiabilidade no uso do dispositivo.

4.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se como quali-quantitativa (qualitativa e quantitativa), pois combina a análise conceitual e interpretativa sobre o problema dos rompimentos de cabos e das tecnologias envolvidas (abordagem qualitativa), com a realização de medições, testes práticos e análise de dados objetivos obtidos a partir do protótipo (abordagem quantitativa).

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, descritiva e explicativa. É exploratória por levantar informações acerca das tecnologias aplicadas e de soluções similares já existentes, ampliando o conhecimento sobre o tema; descritiva, por detalhar o processo de desenvolvimento do dispositivo, sua composição, funcionamento e desempenho; e explicativa, por buscar compreender as causas do problema dos rompimentos de cabos e apresentar uma solução prática fundamentada para minimizá-lo.

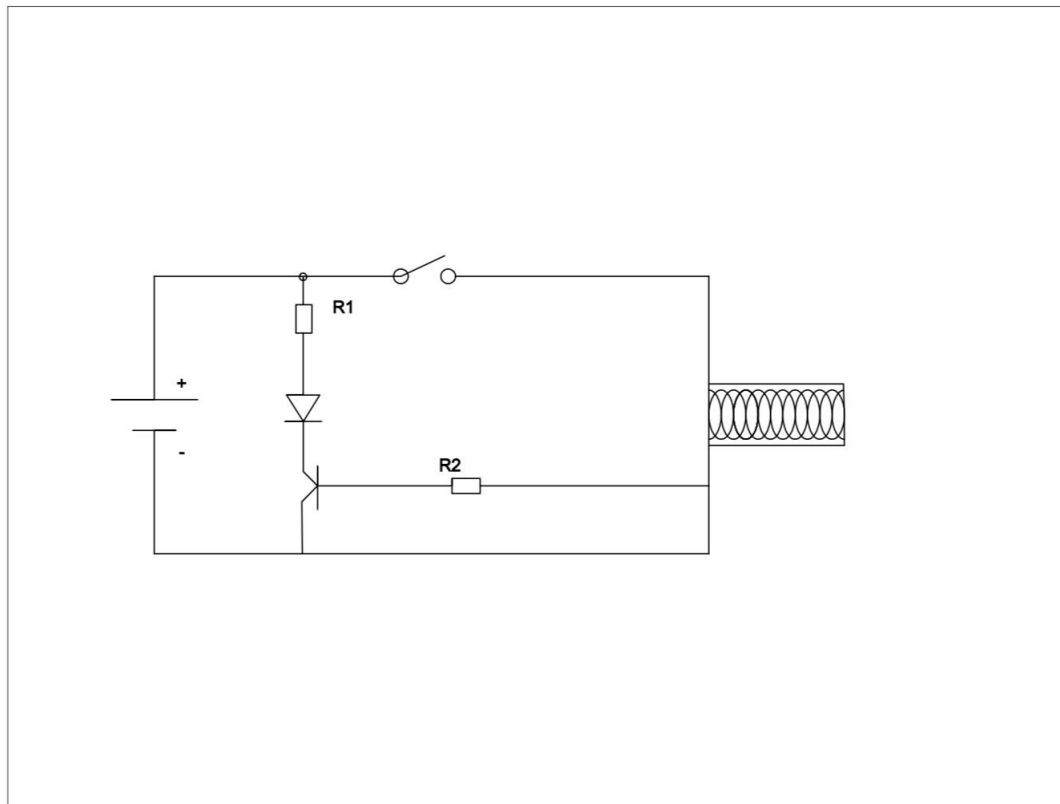
4.2 DESENHO DO PROTÓTIPO



Quando ocorre uma ruptura ou falha de conexão, o sinal não chega ao destino ou apresenta variações anormais, o que é identificado pelo dispositivo. Assim, o detector emite um aviso (visual, sonoro ou ambos), informando a presença da ruptura no cabo. Em resumo:

- Envia-se um sinal pelo cabo.
- Se o cabo estiver inteiro, o circuito se fecha normalmente.
- Se houver rompimento, o sinal não retorna.
- O sistema detecta a interrupção e emite o alerta.

4.3 ESQUEMA ELÉTRICO



- Bateria (ou fonte DC): fornece a energia para o circuito.
- Chave (interruptor): controla o acionamento do circuito.
- R1 e R2 (resistores): limitam a corrente em diferentes partes do circuito, protegendo os componentes.
- Transistor: atua como chave eletrônica; quando recebe corrente na base (via R2), ele permite a passagem de corrente do coletor para o emissor.
- Relé (bobina representada em espiras): é o atuador, energizado quando o transistor conduz.
- Diodo em paralelo com o relé: funciona como diodo de flyback, protegendo o transistor contra a tensão reversa gerada pela bobina ao ser desligada.

4.5 ENTREVISTA

Caso seja aplicável, nesta seção deverá ser apresentado quem será público-alvo da entrevista, as perguntas que serão feitas, como a entrevista será aplicada. As respostas devem estar nos Anexos do trabalho.

5. CRONOGRAMA

Tabela 1 – Cronograma

[illegible]

6. RECURSOS

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Transistor bc 547	R\$ 11,97	1	R\$ 11,97	Shoppe	14/08/2025
led	R\$ 11,37	1	R\$ 11,37	Shoppe	14/08/2025
bateria 9V	R\$ 23,90	1	R\$ 23,90	Mercado Livre	14/08/2025
Bobina indutora	R\$ 25,73	1	R\$ 25,73	Shoppe	14/08/2025
fio 1 M flexível	R\$ 13,50	1	R\$ 13,50	Magazine Luiza	15/08/2025
interruptor de pressão	R\$ 8,55	1	R\$ 8,55	Shoppe	15/08/2025
Resistor 10K	R\$ 3,99	10	39,90	Shoppe	15/08/2025
Valor final: R\$ 134,94					

7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS

Espera-se como produto final a construção de um protótipo funcional do dispositivo detector de rompimento de cabos, capaz de identificar falhas em tempo real e emitir alertas visuais e sonoros, o dispositivo será portátil, de fácil manuseio e aplicável em ambientes industriais e urbanos. Nos âmbitos socioeconômicos, a proposta contribui para a redução de custos de manutenção e maior continuidade no fornecimento de energia. No campo técnico-científico.

Do ponto de vista socioeconômico, o dispositivo trará benefícios ao reduzir custos de manutenção corretiva e paradas não programadas em sistemas industriais e residenciais, aumentando a segurança de trabalhadores e usuários. Já nos aspectos ambientais, espera-se reduzir o desperdício de materiais e energia decorrentes de falhas não detectadas, favorecendo práticas sustentáveis ao prolongar a vida útil das instalações.

A solução proposta mostra-se viável, pois pode ser construída com componentes elétricos e eletrônicos de baixo custo e fácil acesso, em prazos realistas. A contribuição para a área é significativa, pois há demanda por soluções simples e de baixo custo no mercado, além de abrir espaço para melhorias futuras como integração com ferramentas de diagnóstico, por exemplo *TDR* (Time Domain Reflectometer – Reflectômetro no Domínio do Tempo) para cabos metálicos e *OTDR* (*Optical Time Domain Reflectometer*- Reflectômetro Óptico no Domínio do Tempo) para fibras ópticas.

O protótipo é viável em custos, prazos e recursos, utilizando componentes acessíveis. Espera-se tempo de resposta inferior a um segundo e funcionamento confiável em redes de até 220 V. Como limitações, apontam-se a aplicação inicial restrita à baixa tensão e a necessidade de calibração. Assim, os resultados são realistas e indicam a relevância do dispositivo como solução inovadora e aplicável ao setor eletromecânico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marcos Vinícius de; OLIVEIRA, Carlos Eduardo. Sensores e instrumentação em sistemas elétricos. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

APPOLINÁRIO, Fábio. Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Thomson Pioneira, 2006.

ABNT - NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT - NBR 10520:2002 – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT - NBR 13570:2011 – Proteção contra incêndio em instalações elétricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT - NBR 14039:2005 – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - NBR 14724:2011 – Trabalhos acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT - NBR 6023:2018 – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BAUR GmbH. IRG 4000: Reflectometer for fault location. 2021. Disponível em: <https://baur.eu>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho. NR-10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. A indústria elétrica no Brasil: panorama e desafios. Brasília: CNI, 2023.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=7DHeDwAAQBAJ>. Acesso em: 04 set. 2025.

HASSANI, Sahar; DACKERMANN, Ulrike. *Advances in structural health monitoring of electrical infrastructures using non-destructive testing*. University of New South Wales, 2021.

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 400-2012 – *Guide for field testing and evaluation of the insulation of shielded power cable systems*. New York: IEEE, 2012.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MEGGER. *Centrix Evolution: Mobile cable fault location system*. 2021. Disponível em: <https://megger.com>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MEGGER. EZ-Thump 12 kV: *Portable cable fault locator*. 2019. Disponível em: <https://megger.com>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MEGGER. *Smart Thump ST16-20: Automatic cable fault location system*. 2020. Disponível em: <https://megger.com>. Acesso em: 22 ago. 2025.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (NIH). *Electrical safety in the workplace*. Bethesda: NIH, 2020. Disponível em: <https://www.nih.gov>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ANEXOS