

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS BETIM***

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Zalber Luiz Vidotti Leal

**ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO ELETRÔNICOS DISPONÍVEIS NO
MERCADO PARA MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DA CORRENTE DE
CONDUTORES ELÉTRICOS COMO SOLUÇÃO PARA EVITAR
SUPERAQUECIMENTO**

Betim

2024

Zalber Luiz Vidotti Leal

**ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO ELETRÔNICOS DISPONÍVEIS NO
MERCADO PARA MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DA CORRENTE DE
CONDUTORES ELÉTRICOS COMO SOLUÇÃO PARA EVITAR
SUPERAQUECIMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora do curso Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Betim* como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me Virgil Del Duca Almeida

Betim

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

L434a Leal, Zalber Luiz Vidotti

Análise de dispositivos de proteção eletrônicos disponíveis no mercado para medição e monitoramento da corrente de condutores elétricos como solução para evitar superaquecimento / Zalber Luiz Vidotti Leal. – 2024.

57 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2024.

Orientação: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

1. Superaquecimento de cabos. 2. Monitoramento de corrente. 3. Eficiência energética. 4. Riscos de incêndio. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Leal, Zalber Luiz Vidotti. II. Título.

CDU: 621.315



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

**Ata da Defesa de TCC de Zalber Luiz Vidotti Leal ,
realizada em 24 de setembro de 2024.**

No dia 24 de setembro de 2024, às 17 horas, o estudante Zalber Luiz Vidotti Leal, do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFMG – Campus Betim, apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à banca examinadora, composta por Prof. Virgil Del Duca Almeida (orientador), Prof. Daniel Almeida Godinho e pelo Prof. Victor Alves Silva e Melo, que obteve **aprovação com a nota 70**, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC. Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações até o final do semestre letivo corrente e, feitas as correções, tem mais 10 dias corridos para entregar as cópias em meio eletrônico.

O aluno está ciente de que, caso não cumpra os procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, sua nota será considerada zero e a sua defesa de TCC será considerada nula. Também está ciente de que o trabalho de conclusão de seu curso poderá ser divulgado pela Instituição através dos seus meios de comunicação.

Alterações sugeridas pela banca examinadora e outras observações pertinentes à defesa:

- revisar todo o trabalho para eliminar erros textuais;
- revisar organização do texto adicionando seção referente a descrição dos equipamentos;
- observar as sugestões dos membros da banca nos textos enviados.

Às 18h50, o presidente da banca, Virgil Del Duca Almeida encerrou a reunião.

Betim, 25 de setembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Virgil Del Duca Almeida, Professor**, em 25/09/2024, às 11:37, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Victor Alves Silva e Melo, Professor**, em 25/09/2024, às 15:14, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Almeida Godinho, Professor Substituto**, em 28/09/2024, às 06:33, 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 **2051223** e o código CRC **8B4EB014**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu vida para chegar até este momento, dando-me força física e mental para realização desse objetivo.

À minha família, em especial à minha amada esposa Tânia, que sempre estiveram ao meu lado, incentivando para nunca desistir.

Aos professores que contribuíram com os conhecimentos adquiridos por mim e que, de alguma forma, mudou a minha vida. Em especial ao Professor Virgil Almeida que, de forma paciente e perseverante, dedicou-se a me orientar na realização deste trabalho.

Aos colegas de curso que foram parceiros, nas dificuldades de aprendizado e nos momentos de descontração que aliviaram o estresse.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para esse momento.

RESUMO

A eletricidade é essencial para a sociedade moderna, alimentando não apenas a iluminação e dispositivos eletrônicos, mas também motores e facilitando a inovação tecnológica em diversas indústrias. Seu papel é vital para promover o desenvolvimento econômico, aumentar a produtividade e melhorar o bem-estar humano. No entanto, para que os dispositivos elétricos funcionem de forma segura e eficaz, uma infraestrutura bem projetada é necessária. Isso inclui a distribuição adequada de tomadas e o gerenciamento cuidadoso da rede de cabos elétricos, conforme as normas técnicas. Apesar do cumprimento dessas normas, ainda podem ocorrer riscos, como o superaquecimento de cabos e incêndios. Este projeto investiga soluções disponíveis no mercado que sejam economicamente viáveis e capazes de reduzir o risco de superaquecimento nos sistemas elétricos. Além disso, o estudo enfatiza a importância do monitoramento das correntes elétricas e da implementação de medidas de controle em caso de falhas ou quando os valores de corrente excedem os limites seguros. Esses critérios orientaram a seleção dos dispositivos analisados neste trabalho.

Palavras-chave: Corrente elétrica. Eletricidade. Superaquecimento de cabos. Monitoramento de corrente. Eficiência energética. Riscos de incêndio elétrico. Mitigação de riscos.

ABSTRACT

Electricity is essential to modern society, powering not only lighting and electronic devices but also driving motors and facilitating technological innovation across industries. Its role is vital in promoting economic development, enhancing productivity, and improving human well-being. However, for electrical devices to operate safely and effectively, a well-designed infrastructure is necessary. This includes proper distribution of power outlets and careful management of the electrical wiring network according to technical standards. Despite adherence to these standards, risks such as cable overheating and fire hazards can still occur. This project investigates commercially available solutions that are both cost-effective and capable of reducing the risk of overheating in electrical systems. In addition, the study emphasizes the importance of monitoring electrical currents and implementing control measures in the event of faults or when current values exceed safe limits. These criteria guided the selection of the devices analyzed in this work.

Keywords: Electrical current. Electricity. Cable Overheating. Current Monitoring. Energy Efficiency. Electrical Fire Hazards. Risk Mitigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Participação das Fontes na Geração Elétrica Brasileira em 2023	14
Figura 2 - Total de Acidentes de Origem Elétrica – 2023.....	19
Figura 3 - Diagrama Ishikawa - Causa vs. Efeitos.....	23
Figura 4 - Esquema de Aterramento TT.....	34
Figura 5 - Esquema de aterramento TN.....	35
Figura 6 - Esquema de Aterramento IT.....	35
Figura 7 - Esquema de Ligação RM17JC.	41
Figura 8 - Relé RM17JC00MW Schneider.	42
Figura 9 - Dci – Relé monitor de corrente modelo DCI2AD-W.	43
Figura 10 - Unidade Medição Corrente SRW01-UMC3 Weg	45
Figura 11 - Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT3 Weg.	46
Figura 12 - Analisador medidor de energia DMI F200R Black Box	48
Figura 13- Analisador portátil de qualidade de energia modelo SMG7000.	49
Figura 14 - Analisador portátil de qualidade de energia MI550	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de linhas elétricas - Tabela 33 NBR5410	26
Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente, em Amperes,	27
Tabela 3 - Seção mínima dos condutores – Tabela 47 NBR5410.....	28
Tabela 4 - Categoria de emprego dos fusíveis.....	31
Tabela 5 - Temporizadores – Empresa: Coel Automação Industrial.	39
Tabela 6 - Relé de Controle de Corrente - Empresa: Schneider Eletric.	41
Tabela 7 - Relé de Controle de Corrente - Empresa: Metaltex.....	42
Tabela 8 - Unidades de Medição de Corrente - Empresa: Weg.....	44
Tabela 9 - Analisador e Medidor de Energia - Empresa: Isso.	47
Tabela 10 - Analisador e Medidor de Energia - Empresa: Wuahn	49
Tabela 11 - Analisador e Medidor de Energia - Empresa: Meatrol.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Carga de Energia, perdas anuais relativas dos subsistemas elétricos. ...17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Amperes
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACOPEL	Associação Brasileira de Conscientização Para os Perigos da Eletricidade
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CDC	Código de Proteção e Defesa do Consumidor
DIN	Deutsches Institut für Normung (Inst. Alemão de Normalização)
DR	Dispositivo Diferencial Residual
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> / Comissão Internacional de Eletrotécnica
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
IP00	Sem proteção contra objetos sólidos e água
IP20	Protegido contra objetos sólidos com diâmetro maior que 12 mm, sem proteção contra água.
IP30	Protegido contra objetos sólidos com diâmetro maior que 2,5 mm, sem proteção contra água.
IP40	Protegido contra objetos sólidos com diâmetro maior que 1 mm, sem proteção contra água.
IP54	Protegido contra poeira, depressão: 200 mm de coluna d'água. Máxima aspiração de ar: 80 x o volume do invólucro. Protegido contra projeção de água.
PVC	Policloreto de Vinilo.
SIN	Sistema Interligado Nacional
TC	Transformador de Corrente
TWh	Tera Watt hora
UMCT	Unidade Medidora de Corrente e Tensão
XLPE	Polietileno Reticulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo Geral	20
2.2. Objetivos Específicos	20
3. ESTUDO DE CASO	21
4. METODOLOGIA	22
5. DISCUSSÕES E RESULTADOS	23
5.1. Especificações do aparelho de ar condicionado	23
5.2. Especificações do disjuntor	24
5.3. Especificações dos condutores elétricos.....	25
5.3.1. Método de instalação dos condutores	25
5.3.2. Critério da máxima condução de corrente.....	26
5.3.3. Critério da seção mínima.....	28
5.3.4. Critério do limite de queda de tensão	29
5.4. Análise dos dispositivos	30
5.4.1. Dispositivos de segurança.....	30
5.4.1.1. Fusíveis	30
5.4.1.2. Disjuntores	31
5.4.1.3. Dispositivo Diferencial Residual (DR)	32
5.4.1.4. Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)	33
5.4.1.5. Aterramento.....	34
5.4.2. Dispositivos de Controle de Corrente	36
5.4.2.1. Temporizador	36
5.4.2.2. Relé de Controle de Corrente.....	36
5.4.2.3. Unidade Medidora de Corrente	37
5.4.2.4. Analisador Medidor de Energia	37
5.4.3. Análises.....	39
5.4.3.1. Temporizadores	39
5.4.3.2. Relé de Controle de Corrente.....	40
5.4.3.3. Unidades de Medição de Corrente.....	44
5.4.3.3.1. Unidade Medição Corrente.....	45
5.4.3.3.2. Unid. Medição Corrente/Tensão.....	46

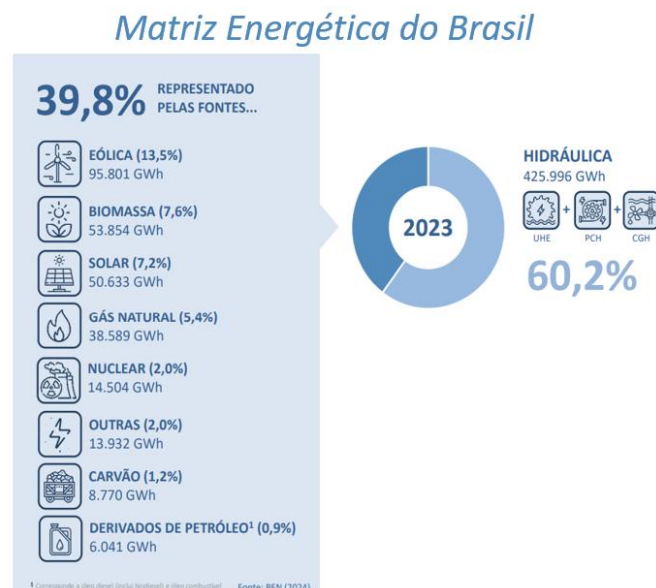
5.4.3.4. Analisador e medidor de energia.....	47
5.4.3.4.1. Analisador e medidor de energia DMI-F200R	47
5.4.3.4.2. Analisador portátil de qualidade de energia SMG7000	49
5.4.3.4.3. Analisador portátil de energia elétrica trifásico MI550	50
5.5. Resultado das Análises	52
5.5.1. Temporizadores	52
5.5.2. Relé de controle de corrente	52
5.5.3. Unidades de Medição de Corrente	53
5.5.4. Analisador e medidor de energia.....	53
6. CONCLUSÕES	54
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um elemento necessário para o funcionamento da sociedade atual, sendo crucial em praticamente todas as atividades humanas, desde o consumo doméstico até os processos industriais mais complexos. Seu uso afeta diretamente o desenvolvimento econômico, social e ambiental. A disponibilidade de energia elétrica de forma segura, acessível e sustentável é uma condição indispensável para a melhoria da qualidade de vida e para o desenvolvimento global.

No Brasil, a energia elétrica tem uma importância central no desenvolvimento econômico. O setor industrial depende de um fornecimento estável de eletricidade para garantir sua competitividade. O país possui uma das maiores matrizes energéticas renováveis do mundo, com destaque para a geração de energia hidrelétrica, que representa cerca de 60,2% da oferta nacional de eletricidade (EPE, 2024) como mostra a Figura 1. Esse cenário contribui para que o país tenha uma fonte de energia mais limpa, embora enfrente desafios de variabilidade hídrica, o que aumenta a importância de diversificar a matriz energética com fontes alternativas como a solar e a eólica.

Figura 1- Participação das Fontes na Geração Elétrica Brasileira em 2023



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024 - Ano Base 2023 - Pág. 2.

A eletricidade também impacta diretamente a qualidade de vida da população. Nos ambientes doméstico, comercial e de prestação de serviços, ela é essencial para a realização de atividades cotidianas. Além disso, o acesso à eletricidade possibilita o

uso de equipamentos eletrônicos e tecnologias que promovem o conforto, a segurança e a operacionalidade nesses ambientes.

Em sua forma básica, a eletricidade, refere-se ao fluxo de elétrons através de um condutor, gerando uma corrente elétrica. Esse fluxo ocorre quando há uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos, criando um movimento direcionado de cargas. A corrente elétrica é medida em Amperes (A), uma unidade que quantifica a quantidade de carga que passa entre dois pontos de um circuito elétrico por segundo.

A corrente elétrica pode ser classificada em corrente contínua (CC), onde o fluxo se dá em um único sentido e corrente alternada (CA), onde o fluxo de elétrons muda de direção periodicamente. O comportamento da corrente elétrica em um circuito pode ser descrito pela lei do Ohm (DAVID HALLIDAY; ROBERT RESNICK; JEARL WALKER, 2016), que estabelece:

$$V = I \cdot R \leftrightarrow I = \frac{V}{R}$$

Onde: V é a tensão; I é a corrente e R é a resistência do condutor.

Apesar de ser utilizada em inúmeras aplicações na indústria como em instalações comerciais e domésticas, a corrente elétrica apresenta riscos à integridade dos equipamentos e à saúde humana.

- a) Danos nos equipamentos elétricos e eletrônicos são consequências de sobrecargas e picos de corrente, resultando em falhas operacionais;
- b) Instalações elétricas defeituosas ou sobrecargas podem gerar faíscas ou aquecimento excessivo que podem acarretar incêndios e explosões. É um risco elevado em ambientes onde substâncias inflamáveis ou produtos de fácil combustão estão presentes;
- c) Choque elétrico, ocorre quando uma pessoa entra em contato com uma diferença de potencial, resultando na passagem da corrente elétrica pelo corpo. A corrente elétrica pode causar queimaduras graves, internas e externas. Isso ocorre devido ao calor gerado pelo efeito Joule quando a corrente atravessa o corpo humano.

Por isso, monitorar a corrente elétrica é importante em diversos contextos, tanto nos ambientes industriais quanto nos comerciais e domésticos. Obter eficiência energética, reduzir custos com manutenção de equipamentos e segurança são algumas razões para monitorar os sistemas de energia.

A eficiência energética pode ser definida como sendo a relação entre a quantidade de energia útil obtida e a quantidade de energia consumida em um determinado processo. A demanda por energia elétrica continua a crescer, o consumo total de energia no Brasil foi de 532 TWh em 2023, um aumento de 4,4% em relação ao ano anterior conforme o EPE (2024). Atender essa demanda consumindo menos energia é um desafio e exige investimentos em eficiência energética.

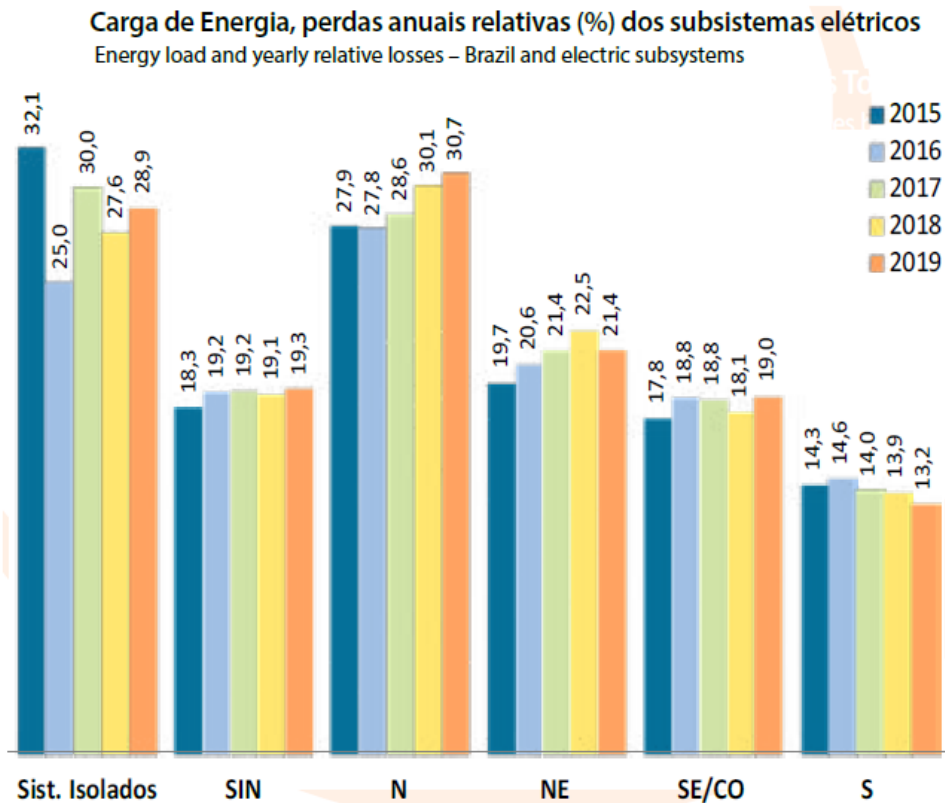
No processo de privatização das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, ocorrido no Brasil a partir de 1995, criou-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com o objetivo de incentivar o combate ao desperdício de energia em todas as formas de produção, transmissão, distribuição, comercialização e uso da energia e, para isso, utiliza-se de programas de eficiência energética para as concessionárias (ANEEL, 2024).

Com a instituição da Lei nº 9.991 em 2000 estabeleceu:

[...] a obrigatoriedade de aplicação do montante mínimo de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica em programas de eficiência energética na oferta e uso final de energia (DOU, 2000).

Ainda assim, as perdas são consideráveis nos subsistemas elétricos. No período de 2015 a 2019 elas chegaram a quase 20% da carga gerada no Sistema Interligado Nacional (SIN) como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Carga de Energia, perdas anuais relativas dos subsistemas elétricos.



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 ano base 2019 pág. 73.

Outro ponto a considerar é o custo de manutenção dos equipamentos. Atualmente a maioria dos equipamentos utilizados na indústria, comércio e residências são eletrônicos e, por isso, são sensíveis às oscilações da tensão e corrente elétrica. Interrupções de tensão acarretadas por falhas da concessionária; curtos-circuitos na rede de energia; correntes de partida de motores, variação repentina de carga e operações de chaveamento na rede elétrica são alguns exemplos de distúrbios de energia que podem causar danos a esses equipamentos.

Tavner afirma que, para uma sequência de falha elétrica rápida, é necessário que essas “falhas sejam detectadas por sistemas de proteção, pois a ação deve ser rápida, de apenas alguns segundos ou ciclos”. Entretanto, caso a sequência de falha ocorra por um longo período, “o monitoramento tem potencial de fornecer um aviso prévio de falha iminente” (TAVNER, 2008).

Esse monitoramento contínuo permite a detecção precoce de falhas, facilitando assim, a manutenção preventiva e corretiva das instalações e equipamentos. Com as tecnologias disponíveis atualmente, é possível implementar sistemas de

monitoramento da corrente elétrica capazes de fornecer dados em tempo real, permitindo uma gestão proativa dos recursos elétricos e a mitigação de potenciais falhas antes que se tornem críticas.

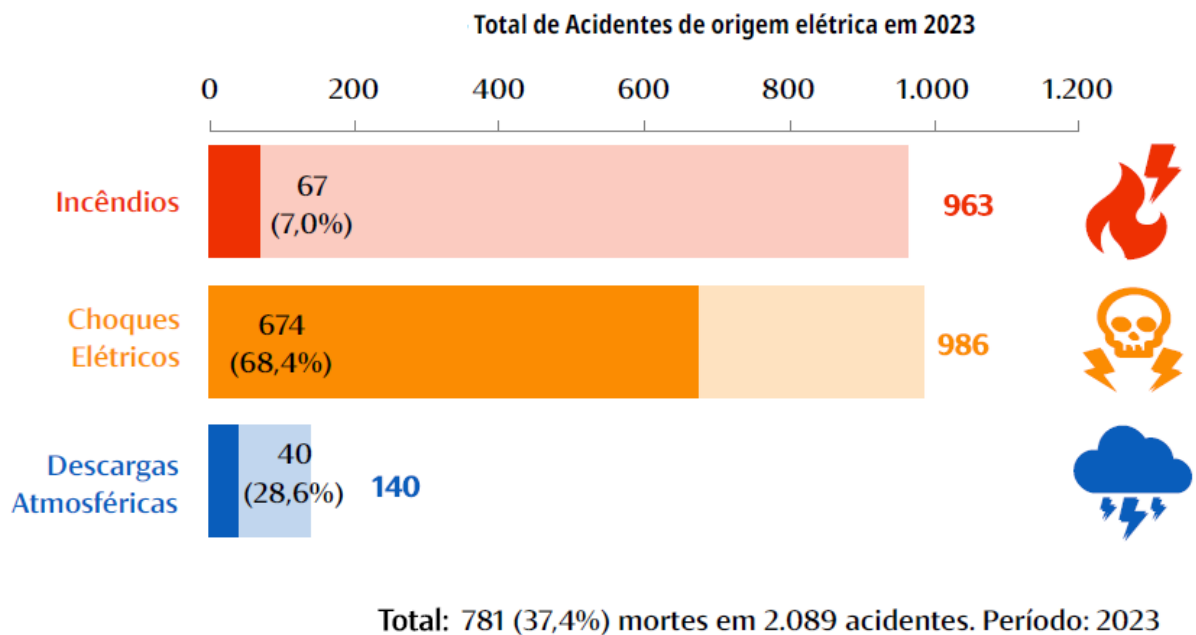
No entanto, a implementação de um sistema de monitoramento enfrenta diversos obstáculos técnicos e econômicos que precisam ser avaliados. A complexidade da instalação de sensores e equipamentos de medição é um desafio, principalmente em sistemas elétricos antigos ou em ambientes industriais com densa infraestrutura. Pontos críticos podem ser dispendiosos, pois são ambientes com intensa interferência eletromagnética que precisa ser minimizada para garantir a precisão e a qualidade dos dados coletados. Além disso, a quantidade de informação adquirida pode ser imensa, principalmente em instalações de grande porte, exigindo estruturas técnica e de pessoal para análise e interpretação dessa base em tempo real.

Do ponto de vista econômico, o custo de implementação de um sistema de monitoramento pode ser elevado, especialmente para pequenas e médias empresas como para consumidores domésticos. Os investimentos para adoção dessas tecnologias, muitas vezes são considerados inviáveis, apesar dos benefícios oferecidos. Outro fator a considerar é o custo de manutenção do sistema após a sua implementação. Sensores e equipamentos de medição estão sujeitos a desgastes e falhas e, para garantir a confiabilidade contínua desses sistemas, é necessário elaborar um plano de manutenção preventiva bem estruturado que geralmente é oneroso.

Para que as instalações elétricas estejam adequadas ao bom funcionamento, existem normas e regulamentações que estabelecem condições mínimas de segurança para as instalações elétricas. A NBR5410, por exemplo, tem como objetivo assegurar a qualidade para que as instalações elétricas de baixa tensão no Brasil estejam adequadas e seguras (ABNT, 2004). Essa norma foi elaborada baseada na norma IEC 60364 que fornece diretrizes internacionais para a segurança em instalações elétricas. Ambas destacam a importância de utilizar dispositivos de proteção adequados e realizar inspeções periódicas, estando o monitoramento da corrente elétrica inserido neste contexto.

Com relação à segurança, a corrente elétrica pode provocar acidentes como sobrecargas e curtos-circuitos que, em alguns casos, podem causar incêndios, danos significativos aos equipamentos elétricos e, em casos extremos, a morte de pessoas. Conforme estudo da ABRACOPEL, em 2023, ocorreram no Brasil 781 mortes envolvendo eletricidade em 2089 acidentes como mostra a Figura 2. Destes acidentes, 963 foram incêndios causados por sobrecarga de energia (curto-circuito) com 67 fatalidades (“Abracopel”, 2024).

Figura 2 - Total de Acidentes de Origem Elétrica – 2023.



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024 ano base 2023 pág. 17.

Vale lembrar que as estatísticas apresentadas são apenas dos incidentes notificados às autoridades. A realidade, é que esses números são ainda maiores, pois nem todos os acidentes são comunicados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste em buscar no mercado, soluções prontas e economicamente viáveis para mitigar ocorrências de superaquecimento de cabos elétricos e, assim, evitar riscos de incêndios, através do monitoramento da corrente elétrica.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar dispositivos de proteção;
- Identificar soluções que meçam e analisam corrente elétrica ou que realizam manobras em caso de falhas ou quando os valores extrapolarem o intervalo de medição recomendado.

3. ESTUDO DE CASO

Em um determinado dia de trabalho, depois de alguns minutos de iniciar o expediente, ligar a iluminação e o aparelho de ar condicionado da sala de aproximadamente 50 m², foi possível notar um forte cheiro de queimado indicando que algo estava errado. Na procura, verificou-se que o cheiro partia do local onde uma luminária estava instalada, pois havia um pequeno sinal de fumaça indicando um possível curto circuito. Sendo assim, desligou-se a iluminação da sala, porém, o cheiro permaneceu, pois o aparelho de ar condicionado permanecia ligado. Logo apareceu uma pequena chama de fogo no forro de PVC da sala, então, foi necessário desligar toda a energia da sala e apagar o fogo que poderia alastrar.

Solucionado o problema do princípio de incêndio, a equipe de manutenção foi acionada para corrigir a causa desse incidente e o seu diagnóstico foi: “Apesar de aparentemente a origem do curto circuito ser na luminária, o cabo condutor que levava energia ao aparelho de ar condicionado, que passava pela caixa de passagem onde estava instalada a luminária, fora o responsável pelo princípio de incêndio. A suspeita foi que o cabo estava com o seu isolamento danificado”.

Por algum motivo, o cabo encostou em uma cantoneira de metal que sustenta o forro de PVC provocando uma possível fuga de corrente elétrica ou curto-circuito, ocasionando o superaquecimento e, conseqüentemente, o princípio de incêndio. Felizmente, o pequeno incidente foi rapidamente sanado sem maiores conseqüências pessoais e patrimoniais.

4. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas etapas: a etapa teórica consistiu na análise documental, buscando conteúdos em artigos científicos, livros, revistas técnicas, dentre outros. No referencial teórico buscou-se trabalhos com abordagem em energia elétrica, formas de medir e monitorar corrente elétrica.

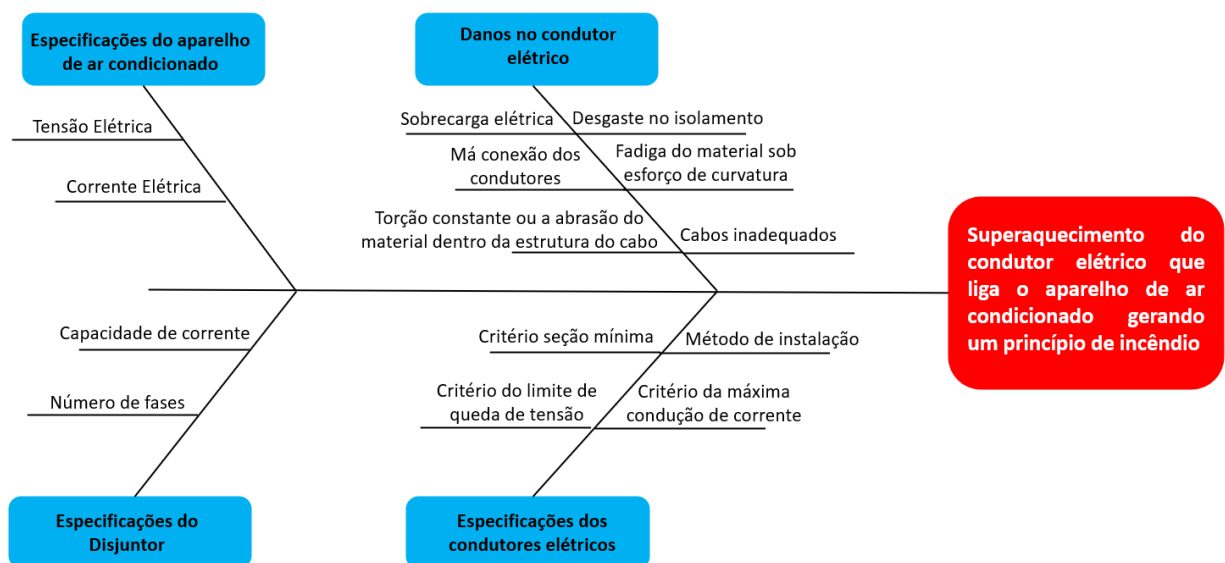
Na etapa prática, realizou-se a verificação se a instalação elétrica que alimentava o aparelho de ar condicionado estaria em conformidade com as especificações e normas técnicas. Em outro ponto, realizou-se pesquisas na internet à procura das soluções disponíveis no mercado para monitorar a corrente elétrica que permitissem a detecção precoce de falhas.

Contudo, inexistiu a pretensão do trabalho de analisar todos os dispositivos disponíveis no mercado. Serão analisados apenas aqueles que apresentarem um mínimo de referência e documentação técnica que possa ser analisada.

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Para verificar se a instalação elétrica que alimentava o aparelho de ar condicionado estaria dentro das especificações e determinar os parâmetros a serem analisados desenvolveu-se um diagrama de Ishikawa (Causa vs. Efeito) como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Diagrama Ishikawa - Causa vs. Efeitos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

5.1. Especificações do aparelho de ar condicionado

O aparelho de ar condicionado em questão é o modelo KOP60QC G2 UE220. Em seu manual de instalação recomenda-se utilizar “disjuntores de boa qualidade do tipo retardado com capacidade de 25% a 50% acima da corrente nominal do aparelho” (KOMEKO, 2012, p.14). Recomenda-se ainda que os disjuntores sejam instalados a uma distância máxima de 2 metros do aparelho, fato que não foi observado na instalação, pois, a distância entre o aparelho de ar condicionado e a caixa de disjuntores era de aproximadamente 12 metros. No quadro geral de características técnicas, pág. 28, é informado que a corrente do aparelho é 14,38 A.

5.2. Especificações do disjuntor

O disjuntor trifásico, que secciona o circuito elétrico do ar condicionado, tem capacidade para 20 A. A sua capacidade é de aproximadamente 39% acima da corrente nominal do aparelho de ar condicionado que é de 14,38 A. Percentual acima dos 25% que seria o valor mínimo, porém, inferior a capacidade máxima (50%) recomendada pelo fabricante do aparelho. Esse fato indicaria que o disjuntor estaria propenso a desarmar com maior frequência, todavia, não foi o que ocorreu mesmo com o superaquecimento do cabo elétrico.

5.3. Especificações dos condutores elétricos.

Vários fatores poderiam ter causado o superaquecimento do cabo: desgaste do isolamento no momento em que ele foi passado no eletroduto para instalação do aparelho devido o atrito com outros materiais; fadiga do material sob esforço de curvatura; torção constante ou a abrasão do material dentro da estrutura do cabo, são alguns exemplos. Outros fatores como sobrecarga elétrica, má conexão e utilização de cabos inadequados, não foram consideradas pois a instalação estaria de acordo com as normas técnicas, ou seja, cabos e disjuntores estavam dimensionados corretamente conforme às especificações do aparelho de ar condicionado.


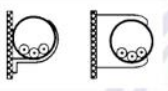
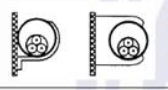
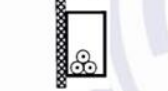
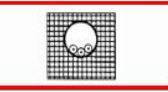
A ligação é composta por cabos de 4 mm² com isolamento XLPE instalados em eletroduto flexível corrugado embutido em alvenaria. Ao conferir o dimensionamento dos condutores elétricos da instalação conforme a NBR5410 observou-se alguns critérios.

5.3.1. Método de instalação dos condutores

É o meio que indica a capacidade de condução de corrente do condutor de acordo com o modo de sua fixação. Nesse caso, conforme a Tabela 33 da norma, verificou-se que o método é o número 7, “Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria” de referência B1, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de linhas elétricas - Tabela 33 NBR5410

Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1

Fonte: Adaptado de: ABNT, Instalações de baixa tensão NBR5410 – Tabela 33, 2004, p. 90.

5.3.2. Critério da máxima condução de corrente

Utilizado para o dimensionamento da seção dos condutores conforme tabela 37 da NBR5410. Ele determina a corrente máxima suportada por um condutor sem que a temperatura exceda os limites de segurança quando estiver em uso de forma contínua. Com isso, evita superaquecimento do condutor garantindo a sua integridade e evitando riscos ao sistema elétrico.

Esse critério é fundamental para:

- Evitar sobrecarga térmica que danifica o isolamento e outros componentes dos cabos;
- Garantir a segurança ao evitar riscos como curto-circuito, possíveis incêndios e falhas devido ao superaquecimento dos cabos;
- Prolongar a vida útil do sistema assegurando que os condutores não sofram degradação precoce ao operar dentro da faixa da corrente nominal.

Conforme a tabela, o cabo elétrico de 4 mm² com isolamento de XLPE é capaz de conduzir uma corrente de até 37 A como mostra a Tabela 2.

*Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente, em Amperes,
para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
Condutores de Cobre e isolamento XLPE - Tabela 37 NBR5410.*

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46

Fonte: Adaptado de: ABNT, *Instalações de baixa tensão NBR5410 – Tabela 37, 2004, p. 102.*

5.3.3. Critério da seção mínima

Para circuitos de força e cabeamentos em cobre (Cu), deve-se utilizar seção mínima de 2,5 mm² conforme Tabela 47 da norma, como mostra a Tabela 3. A seção utilizada na instalação do aparelho de ar condicionado é de 4 mm².

Tabela 3 - Seção mínima dos condutores – Tabela 47 NBR5410.

Tabela 47 — Seção mínima dos condutores¹⁾

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas
²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.
³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².
⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

Fonte: Adaptado de: ABNT, *Instalações de baixa tensão NBR5410 – Tabela 47, 2004, p. 113.*

5.3.4. Critério do limite de queda de tensão

Conforme o manual do aparelho de ar condicionado, pag. 28, a ligação é trifásica e o circuito possui, aproximadamente, 12 m de comprimento. O cálculo é dado pela equação

$$S_c = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \rho \cdot L_c \cdot I_c}{\Delta V \cdot V_{ff}}$$

Onde: S_c = Seção do condutor

ρ = resistividade do condutor (cobre 1/56 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$);

L_c = comprimento do circuito (12 m);

I_c = corrente do circuito (14,38 A);

ΔV = queda máxima de tensão em % (4%);

V_{ff} = tensão entre fases (220 V).

$$S_c = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \rho \cdot L_c \cdot I_c}{\Delta V \cdot V_{ff}} \leftrightarrow S_c = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{1}{56} \cdot 12 \cdot 14,38}{4 \cdot 220} = \frac{533,72}{880} = 0,61 \text{ mm}^2.$$

Nessas condições, é possível afirmar que, tanto o disjuntor como a seção do condutor, estão com os dimensionamentos corretos, apesar da capacidade do disjuntor não estar dentro da capacidade máxima de 50% da corrente nominal do aparelho de ar condicionado. Entretanto, o disjuntor não desarmou, possivelmente por não ter ocorrido uma sobrecarga ou curto-circuito, mas uma corrente de fuga, provocando o aquecimento sem desarmá-lo. Isso pode ter ocorrido devido à alta impedância do circuito, onde a amplitude da corrente é reduzida podendo ficar abaixo dos valores de sensibilidade dos dispositivos de proteção para sobrecargas, no caso o disjuntor. Provavelmente, o circuito não foi aberto pela falta de instalação de um disjuntor diferencial residual (DR) para o circuito.

A passagem de corrente de fuga à terra através de materiais, mesmo que de alta resistividade elétrica, pode provocar a sua ignição mesmo em temperaturas abaixo da temperatura de ignição de referência. Quando a corrente aquece materiais propensos a combustão espontânea, por um determinado período, acelera o processo de combustão mesmo com temperatura de ignição reduzida, aumentando a possibilidade de iniciar um incêndio. (SILVA DA ROCHA, 2023)

5.4. Análise dos dispositivos

O mercado disponibiliza diversas opções em soluções para monitoramento da corrente elétrica. A busca por redução de custos, economia de energia e, conseqüentemente, sustentabilidade são razões para essas ofertas. Sistemas embarcados popularizaram a automatização de atividades industriais e cotidianas (TORRES; ROCHA; SOUZA, 2016). Essa tecnologia possibilitou a criação de diversos dispositivos eletroeletrônicos que executam tarefas específicas em sistemas maiores.

Esses dispositivos são capazes de integrar qualquer tipo de equipamento à internet, transmitir dados ou executar funções através de comandos remotos. Suas aplicações vão além da indústria e incluem veículos automotores, equipamentos médicos, aparelhos eletrônicos, sistemas de segurança dentre outros.

Com o objetivo de analisar as soluções disponíveis no mercado para o controlar e monitorar a corrente elétrica, este trabalho irá apresentar apenas aqueles que disponibilizam uma folha de dados ou informações mínimas com especificações suficientes para verificar se atenderiam as necessidades para evitar o superaquecimento do cabo elétrico.

5.4.1. Dispositivos de segurança

A energia elétrica precisa ser controlada para não oferecer riscos às pessoas através dos choques elétricos, danos aos equipamentos eletroeletrônicos, incêndios e surtos elétricos. Por isso, os dispositivos de segurança elétrica foram desenvolvidos para atuar como uma barreira contra falhas e, assim, proteger contra esses riscos.

Os dispositivos de segurança têm a obrigação de apresentar o valor de corrente nominal, o tipo de curva (B, C), capacidade de interrupção e a garantia da segurança dos circuitos elétricos. (ARAÚJO et al., 2023).

5.4.1.1. Fusíveis

Amplamente utilizados em sistemas elétricos, os fusíveis são os dispositivos mais simples de proteção contra sobrecorrente e curto-circuito. Eles possuem segmentos metálicos que se fundem, devido efeito Joule quando ocorre uma

sobrecorrente acima do valor especificado (RAMOS LOPES; CERQUEIRA; BRASIL, [s.d.]). Trata-se de componentes de baixo custo, porém não podem ser reutilizados.

Os fusíveis possuem aplicações específicas conforme a seguinte categorização: ação muito rápida, rápida, média, lenta ou muito lenta (SIBA, 2024). Para proteção de motores, como os empregados em sistemas de refrigeração, é utilizado fusíveis de ação lenta, pois, ao dar a partida, ocorre um pico de corrente muito rápido. Com a ação lenta, o fusível não desarma o circuito nesse pico, todavia ele desarma em outras incidências de sobrecorrente.

Tabela 4 - Categoria de emprego dos fusíveis.

CATEGORIA DE EMPREGO DOS FUSÍVEIS		
Intervalo de Ruptura	Letra	Aplicação Fusível (Proteção)
1ª letra minúscula (Indica o intervalo de ruptura)	a	Curto-circuito (<i>back-up</i>)
	g	Sobrecarga e curto circuito (<i>full-range</i>)
2ª letra maiúscula (indica a característica de proteção)	G	Uso geral
	L	Linha (cabos/condutores)
	M	Motores
	R	Semicondutores
	Tr	Transformadores

Fonte: Adaptado de: SIBA, *Definições das classes de operação dos fusíveis, conforme norma IEC., s.d., p. 1/1.*

Exemplos de aplicações:

- “aM” – fusível para proteção de motores;
- “gL” – fusível para proteção de cabos;
- “gG” – fusível para uso geral.

5.4.1.2. Disjuntores

Dispositivos eletromecânicos essenciais em qualquer sistema elétrico, seja uma simples instalação residencial, mais complexas como industriais ou sistemas de grande porte como subestações e redes de transmissão (SAMPAIO, 2012). Apesar de serem mais conhecidos como dispositivos de proteção, vale ressaltar seu papel no

seccionamento de instalações elétricas com o objetivo de equilibrar a distribuição das cargas.

Em termos simples, os disjuntores funcionam como interruptores automáticos. Caso a corrente elétrica exceda o limite para o qual o disjuntor foi dimensionado, a temperatura dos elementos de desarme é elevada fazendo que ele atue interrompendo o fluxo de corrente do circuito. Isso ocorre caso ocorra algum distúrbio na rede elétrica como: curtos-circuitos, sobrecargas ou eventuais picos-de-corrente.

O tipo mais comum de disjuntor utilizado é o termomagnético, ele possui dois tipos de proteção:

- **Térmico:** por efeito Joule, ocorre o aquecimento da lâmina bimetálica, a mesma deforma dilatando os metais até um determinado ponto onde é acionado o mecanismo de seccionamento, então, o circuito é desarmado.
- **Magnético:** seu funcionamento é baseado nos princípios do eletromagnetismo. Ou seja, se uma corrente de alta intensidade (sobrecarga ou curto-circuito) atravessa a bobina, gera um campo magnético capaz de desarmar os contatos do disjuntor protegendo, assim, o circuito.

Cada fase do circuito deve ser ligada a um polo do disjuntor, motivo pelo qual, existem disjuntores monopolares ou unipolares, utilizados em redes monofásicas; bipolares para redes bifásicas e os tripolares para redes trifásicas.

5.4.1.3. Dispositivo Diferencial Residual (DR):

O dispositivo diferencial residual tem a função específica de proteger os seres humanos contra choques elétricos e vazamentos de corrente nos equipamentos (RAMOS LOPES; CERQUEIRA; BRASIL, [s.d.]). Ele monitora continuamente a corrente que entra e sai de um determinado circuito.

Se ocorre uma variação significativa entre elas, indica a presença de uma corrente de fuga. Esse fenômeno é um fluxo de corrente anormal ou indesejado que escapa do seu caminho normal e flui através de um condutor indesejado, como o solo

ou partes metálicas de um equipamento. Diversos fatores podem causar essa fuga: falhas no isolamento elétrico, problemas em equipamentos eletrônicos, umidade excessiva, dentre outros.

O dispositivo DR é sensível o suficiente para detectar pequenas variações de corrente, geralmente a partir de 30 mA, então, atua imediatamente interrompendo o fluxo de corrente do circuito de forma automática. Com isso, o dispositivo desempenha um papel fundamental na prevenção de acidentes elétricos, garantindo a segurança de pessoas e equipamentos elétricos.

5.4.1.4. Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)

É um dispositivo projetado para detectar e desviar sobretensões transitórias na rede elétrica, ou seja, ele desvia as correntes de surto (como sobrecargas causadas por raios, por exemplo) diretamente para a terra. (SCHNEIDER ELETRIC, 2024b). Para isso, conecta-se um terminal na fase e outro terminal é conectado ao sistema de aterramento.

O objetivo é direcionar para a terra os picos de tensão oriundos da rede elétrica da concessionária. Esses picos são fenômenos provenientes de uma onda transitória de tensão, em um curto período de tempo que, normalmente, surgem de descargas atmosféricas. Internamente, o DPS possui um circuito eletrônico composto por um varistor que monitora os picos de tensão e um mecanismo de disparo que, quando acionado, cria um curto-circuito com a terra (RAMOS LOPES; CERQUEIRA; BRASIL, [s.d.]).

5.4.1.5. Aterramento

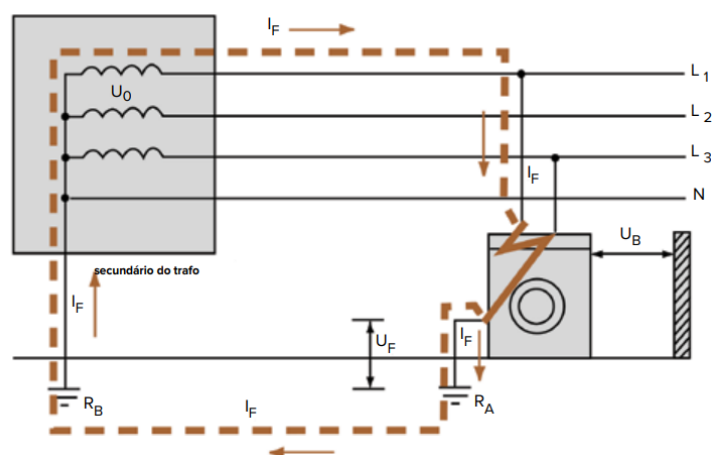
O aterramento é um dos componentes mais críticos em redes elétricas. A sua função é garantir a segurança e o funcionamento adequado das instalações elétricas protegendo as pessoas e os equipamentos contra falhas elétricas, dissipando com segurança a corrente de falha evitando incidentes como choques elétricos, possíveis incêndios e danos dos equipamentos eletroeletrônicos. É um recurso crucial para que os demais dispositivos de proteção realizem a efetiva proteção do circuito.

A NBR5410 determina que toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento. Ela consiste na conexão de partes metálicas não energizadas e de condutores de proteção a um ponto de referência com potencial zero, geralmente no solo. Em uma instalação residencial, por exemplo, ela é construída introduzindo no solo uma barra de ferro cobreada ou uma cantoneira galvanizada, a uma profundidade de 2,40 m em local que não atrapalhe a movimentação em geral (MEDEIROS, 2010).

Dependendo como o sistema é aterrado e qual é o dispositivo de proteção utilizado, os esquemas de aterramento em baixa tensão são classificados em:

- Esquema TT: o neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo da fonte, como mostra a Figura 4. A corrente é insuficiente para acionar disjuntores ou fusíveis, mas suficiente para colocar em risco uma pessoa. Ela deve ser detectada e eliminada por dispositivos mais sensíveis (DR).

Figura 4 - Esquema de Aterramento TT.

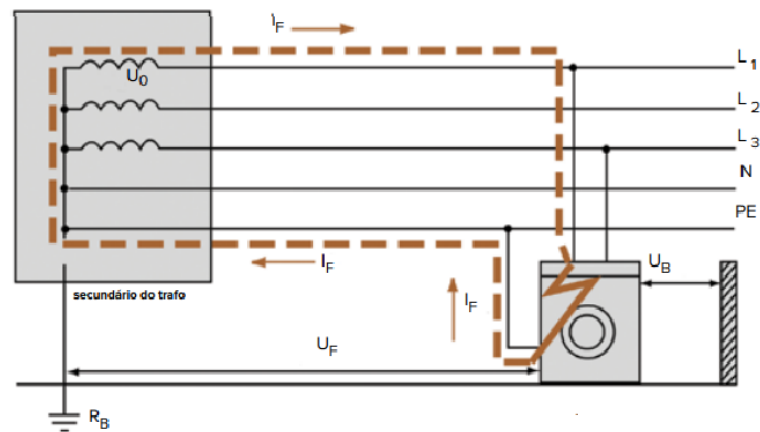


Fonte: Moreno, Aterramento Elétrico – International Cooper Association Brazil, 2018, p. 14.

- Esquema TN: o neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas de instalação conectadas a esse ponto por meio de condutores de proteção conforme Figura 5. Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa é de

baixíssima impedância (cobre) e a corrente pode atingir valores elevados, suficientes para serem detectados e interrompidos até mesmo por disjuntores e fusíveis.

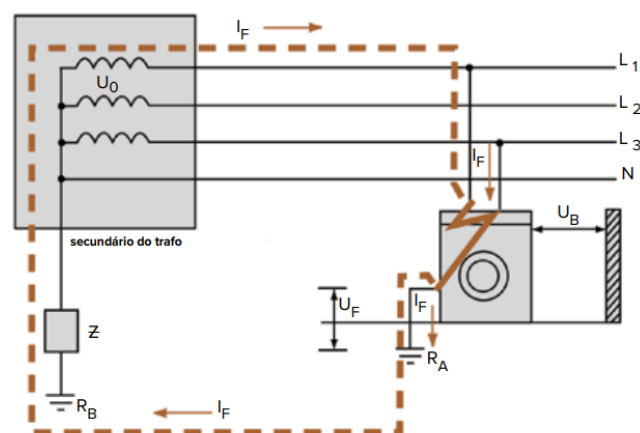
Figura 5 - Esquema de aterramento TN.



Fonte: Moreno, *Aterramento Elétrico – International Cooper Association Brazil*, 2018, p. 15.

- Esquema IT: é parecido com o TT, porém o aterramento da fonte é realizado através da inserção de uma impedância de valor elevado (resistência ou indutância), conforme a Figura 6. Com isso, limita-se a corrente de falta a um valor desejado, de forma a não permitir que uma primeira falta desligue o sistema. Geralmente, essa corrente não é perigosa para as pessoas, mas como a instalação estará operando em condição de falta, devem ser utilizados dispositivos que monitorem a isolamento dos condutores, evitando a excessiva degradação dos componentes da instalação. O uso dos sistemas IT é restrito aos casos onde uma primeira falha não pode desligar imediatamente a alimentação, interrompendo processos importantes como em salas cirúrgicas, certos processos metalúrgicos, etc. (MORENO, [s.d.]

Figura 6 - Esquema de Aterramento IT.



Fonte: Moreno, *Aterramento Elétrico – International Cooper Association Brazil*, 2018, p. 15.

5.4.2. Dispositivos de Controle de Corrente

5.4.2.1. Temporizador

Também conhecido como Interruptor Temporizador é um dispositivo que, usando circuitos eletrônicos ou componentes mecânicos, liga e desliga um sistema elétrico em horários pré-estabelecidos. Isto é, ele controla os períodos que um equipamento eletroeletrônico, como lâmpada, sistema de refrigeração, tomada de energia ou eletrodoméstico, permanecerão ligados em períodos que forem necessários ou desligados quando estiverem ociosos.

Em alguns casos, podem funcionar integrados a sensores de presença impedindo que iluminação, aparelhos de ar condicionado ou algum equipamento fique ligado em ambientes que estejam vazios. Desta forma, contribuem para reduzir o consumo e evitar o desperdício de energia.

5.4.2.2. Relé de Controle de Corrente

Dispositivo eletromecânico com a função de monitorar e proteger circuitos elétricos ao detectar variações nos níveis de corrente. Funciona como um interruptor sendo acionado quando os valores da corrente elétrica ultrapassam ou caem abaixo de valores predeterminados. Quando isso ocorre, envia-se um comando de proteção ou controle ao sistema.

São utilizados em sistemas de controle e supervisão, permitindo o acionamento de motores, válvulas, bombas e outros dispositivos de forma precisa e confiável. Além disso, garantem proteção contra sobrecargas e falhas que podem causar danos aos equipamentos e, conseqüentemente, paradas imprevistas dos sistemas.

O relé tem sua construção baseada num contato metálico que se abre ou fecha sob a influência de campo eletromagnético induzido numa bobina em seu interior. Desse modo, quando os contatos da bobina do relé são percorridos por uma corrente elétrica ele atrai o contato metálico e abre ou fecha o contato, conforme o modelo de relé utilizado (PATSKO, 2006).

5.4.2.3. Unidade Medidora de Corrente

Os instrumentos de medição são essenciais para o monitoramento, controle e diagnósticos em sistemas automatizados. Tratando-se de áreas como elétrica e eletrônica, eles contribuem na avaliação da tensão, corrente, resistência, potência, frequência, dentre outras. Ao coletarem dados, oferecem informações importantes para tomada de decisões que direcionam as manutenções preventivas e corretivas das instalações. Com isso, permitem um funcionamento adequado dos sistemas, desenvolvem a eficiência energética e reduzem riscos de falhas ou acidentes.

O medidor de corrente é um dispositivo que mede o fluxo de corrente elétrica em um circuito. Sua função se restringe à aferição, mas em alguns casos, pode indicar e transmitir os valores das grandezas ao sistema de controle que irá analisar e atuar de acordo com as informações recebidas.

5.4.2.4. Analisador Medidor de Energia

Essencial para a análise da qualidade da energia elétrica, o analisador medidor de energia também contribui para o monitoramento detalhado do consumo. Ele permite uma avaliação confiável de grandezas elétricas como tensão, corrente, potência ativa e reativa, fator de potência, distorções harmônicas e desequilíbrios de fases. É mais utilizado em ambientes industriais, instalações comerciais mais complexas e em residências, porém, em números reduzidos.

Os recursos técnicos destes equipamentos desempenham funções que vão da simples medição básica de consumo até a identificação de problemas relacionados à qualidade de energia. São capazes de diagnosticar problemas ao detectarem sobrecargas, surtos e quedas de tensão, permitindo a identificação precoce de falhas facilitando a manutenção das instalações. Isso ocorre devido o monitoramento contínuo da qualidade da energia, principalmente da corrente elétrica.

Além disso, esses dispositivos possuem a habilidade de fornecer dados em tempo real, possibilitando o controle e a automação de processos complexos, auxiliando na tomada de decisões. São ferramentas indicadas para implementação de estratégias de eficiência energética através de análises detalhadas do uso de energia e a identificação de áreas que podem ser otimizadas.

Há uma elevada disponibilidade de analisadores de energia no mercado. Em sua maioria, são encontrados instalados em unidades industriais, principalmente por seus custos elevados de aquisição e manutenção. Todavia, é possível serem encontrados em instalações residenciais ainda que timidamente. Existem modelos portáteis, com custos menores. Eles têm a vantagem de serem utilizados por técnicos para realizarem medições pontuais, em local desejado sem grandes dificuldades (BARBOSA, 2012).

5.4.3. Análises

5.4.3.1. Temporizadores

São os dispositivos mais simples disponíveis no mercado. Eles ligam e desligam os equipamentos, do circuito elétrico em que estão instalados, com horários pré-estabelecidos

A Coel Automação Industrial (“Coel”, 2024) é um dos fabricantes destes dispositivos e tem em seu portfólio as seguintes opções:

Tabela 5 - Temporizadores – Empresa: Coel Automação Industrial.

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
RTL ¹	Interruptor Horário RTL (110 ou 220v [especificar])	16A	1
RTM ²	Interruptor Horário RTM (110 ou 220v [especificar])	16A	1
RTDQ ³	Interruptor Horário RTQD (220V)	16A	1
RTDQL ⁴	Interruptor Horário RTDQL (220V)	16A	1
RTST20 ⁵	Interruptor Horário RTST20 (Digital)	16A	2
RTSTL20 ⁶	Interruptor Horário RTSTL20 (Digital)	16A	2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Todos os temporizadores apresentam as seguintes características:

- 1 relé de saída reversível (SPDT), 16A;
- Alimentação 110 ou 220 Vca (é preciso especificar em alguns modelos) e frequência de 60Hz;
- Programas diários, sendo que os modelos RTST20 e RTSTL20 também apresentam programação semanal;
- Os modelos RTL, RTM, RTDQ e RTDQL são analógicos, possuem disco graduado de fácil programação, através de cavaletes não extraíveis. Os modelos RTST20 e RTSTL20 são digitais; possuem display LCD multi-indicativos e 20 memórias para programações (10 liga + 10 desliga);

¹ Disponível em: <https://www.coel.com.br/produto/rtl-programador-horario-eletromecanico/>

² Disponível em: <https://www.coel.com.br/produto/rtm-programador-horario-eletromecanico/>

³ Disponível em: <https://www.coel.com.br/produto/rtqd-programador-horario-eletromecanico/>

⁴ Disponível em: <https://www.coel.com.br/produto/rtqdl-programador-horario-eletromecanico/>

⁵ Disponível em: <https://www.coel.com.br/produto/rtst20-programador-horario/>

⁶ Disponível em: <https://www.coel.com.br/produto/rtstl20-programador-horario/>

- Os modelos RTL, RTQDL e RTSTL20 têm montagem externa em painéis 72 x 72 mm enquanto os modelos RTM, RTQD e RTST20 são fixados pela base em trilho DIN.

Os temporizadores acima possuem preços que variam entre R\$ 237,00 e R\$ 757,00 e não evitariam o superaquecimento do cabo elétrico, pois eles não fazem nenhum tipo de monitoramento da corrente elétrica. Isto ocorre por terem a função de apenas permitir ou não a passagem de corrente elétrica, nos horários programados.

De antemão, era sabido que não atenderiam às especificações, pois o princípio de incêndio iniciou pouco tempo após o equipamento ser ligado, em um horário que o temporizador estaria permitindo a passagem de corrente. Todavia, eles foram mencionados nesse trabalho pela elevada oferta desses dispositivos, principalmente para uso em equipamentos de ar condicionado. Nesses casos, eles consistem em uma estratégia eficiente para economizar energia elétrica.

5.4.3.2. Relé de Controle de Corrente

Dispositivos que funcionam como um interruptor automático acionado caso os valores da corrente elétrica ultrapassem ou fiquem abaixo de valores predeterminados. São amplamente utilizados em sistemas de controle e supervisão no acionamento de variados tipos de equipamentos de forma adequada e segura.

A Schneider é fabricante de produtos elétricos, automação e digitalização para indústria, infraestrutura, data centers, edifícios e residências (“Schneider Electric”, 2024). Em sua linha de relés de controle de corrente têm-se os produtos:

Tabela 6 - Relé de Controle de Corrente - Empresa: Schneider Eletric.

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
RM35JA32MW ⁷	Relé controle corrente, função dupla, 2NAF, 5A	5A	1
RM17JC00MW ⁸	Relé controle corrente, função única, 2NAF, 2~20A	20A	3
RM35JA32MR ⁹	Relé controle de corrente, multifunção, off delay, 2NAF,	8A	1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Das 3 opções, apenas o modelo RM17JC00MW (SCHNEIDER ELETRIC, 2024a), Figura 8, atenderia as especificações, devido à sua faixa de medição de corrente com um custo razoável. Algumas de suas características são:

- Faixa de medição: 2 a 20A CA, 250V;
- Parâmetro de monitoramento: Detecção de sobrecorrente, sendo que, o valor limite é ajustado por meio do potenciômetro graduado como uma porcentagem do valor da escala;
- Controle de corrente em redes trifásicas (possui transformador de corrente incorporado);

Figura 7 - Esquema de Ligação RM17JC.



Fonte: Adaptado de: SCHNEIDER, Harmony Control Relay Application Guide, 2021, p. 10.

- Fornece gerenciamento de desligamento automático e informações de falhas, a comunicação e status de erro é fornecido pela saída do borne 12 como mostra a Figura 7, o sinal fornecido por essa saída indica que o monitoramento de corrente está fora do padrão configurado pelo usuário;

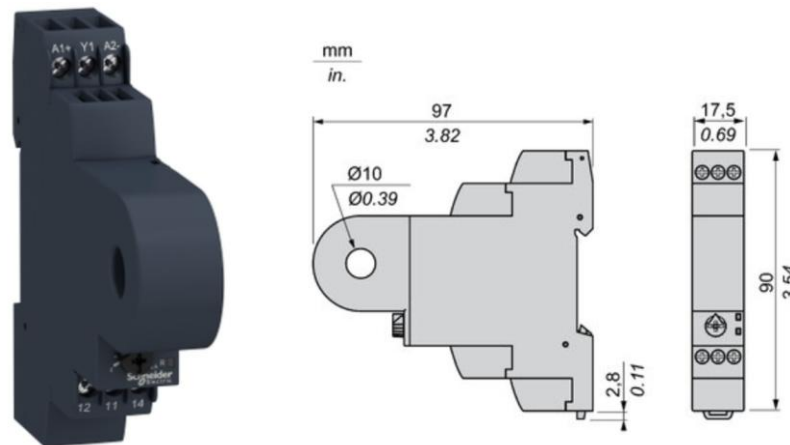
⁷ Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product/RM35JA32MW/rel%C3%A9-de-controle-de-corrente-fun%C3%A7%C3%A3o-dupla-2naf-5a-015-15a-24-240vca-cc/>

⁸ Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product/RM17JC00MW/rel%C3%A9-de-controle-de-corrente-fun%C3%A7%C3%A3o-%C3%BAnica-2naf-2-20a-24-240vca-cc/>

⁹ Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product/RM35JA32MR/rel%C3%A9-de-controle-de-corrente-multifun%C3%A7%C3%A3o-off-delay-01-30s-2naf-8a-150ma-15a-24-240vca-cc/>

- Sistema de fixação em trilhos DIN;
- Grau de proteção IP20 e IP30;
- Garantia: 18 meses;
- Preço: R\$ 243,89.

Figura 8 - Relé RM17JC00MW Schneider.



Fonte: Adaptado de: SCHNEIDER, Harmony Control Relay - Product data sheet, 2021, p. 1 e 8.

Outro relé de monitoramento de corrente, encontrado no mercado, é o modelo DCI20AD-W, Figura 9, fabricado pela Metaltex que desenvolve linhas completas de componentes eletrônicos, como relés, conectores, bornes, chaves e outros (“Metaltex”, 2024). Possui também soluções completas para automação industrial, importadas da China.

Tabela 7 - Relé de Controle de Corrente - Empresa: Metaltex.

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
DCI2AD-W ¹⁰	Dci – Relé monitor de corrente	20A	1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Características do relé:

- Monitora correntes de até 20A CC/CA através do seu transformador de corrente incorporado. Pode monitorar correntes acima de 20A utilizando-se de um TC adicional;
- Monitora sub e sobrecorrente;

¹⁰ Disponível em: <https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/rele-de-protecao/dci-rele-monitor-de-corrente>

- Alimentação 24 a 240V CA/CC;
- Sistema de fixação em trilhos DIN;
- Proteção: IP20 e IP40;
- Preço: R\$ 455,00.

Figura 9 - Dci – Relé monitor de corrente modelo DCI2AD-W.



Fonte: METALTEX, Relé monitor de corrente, p. 1.

Em seu manual, a empresa afirma que “este relé serve para monitorar a corrente para controle do aquecimento de cabos e outros dispositivos” (METALTEX, 2024. p. única). É uma opção de dispositivo que atenderia as especificações, porém, por ser um produto importado da China não há maiores informações sobre a sua confiabilidade. Possui um preço relativamente alto ao considerar a possível demora para entrega e o curto prazo da garantia que é de 90 dias conforme o CDC (MINISTÉRIO DA JUSTIÇA - SECRETARIA NACIONAL DO CONSUMIDOR, 2013).

Os dois modelos que atenderiam as especificações, possuem características técnicas semelhantes, entretanto, em uma eventual escolha, a melhor opção seria o modelo RM17JC00MW da Schneider. Fatores como prazo de entrega, o tempo de garantia, preço e suporte técnico on-line via *WhatsApp* oferecidos pela Schneider pesariam na decisão.

5.4.3.3. Unidades de Medição de Corrente

Os medidores de corrente são dispositivos que medem, indicam e transmitem os valores do fluxo de corrente elétrica em um circuito. É necessário que outro equipamento ou software analise as informações e atue de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos.

A Weg é uma empresa especializada na fabricação e comercialização de motores elétricos, transformadores, geradores e tintas.

Atua nas áreas de comando e proteção, variação de velocidade, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia e tintas e vernizes industriais. Possui uma linha de relés inteligentes de gerenciamento de motores elétricos de baixa tensão com capacidade de comunicação em rede. Eles podem ser configurados, programados e monitorados via Fieldbus (DeviceNet, Profibus-DP, Modbus-RTU, Ethernet Modbus-TCP, Ethernet Profinet-I/O ou Ethernet-IP); interface de operação IHM e via USB através de software gratuito WLP ("Weg", 2024).

Tabela 8 - Unidades de Medição de Corrente - Empresa: Weg

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
SRW01-UMC1 ¹¹	Unidade Medição Corrente SRW01-UMC1	5A	3
SRW01-UMC2 ¹¹	Unidade Medição Corrente SRW01-UMC2	12,5A	3
SRW01-UMC3 ¹¹	Unidade Medição Corrente SRW01-UMC3	25A	3
SRW01-UMC4 ¹¹	Unidade Medição Corrente SRW01-UMC4	125A	3
SRW01-UMC5 ¹¹	Unidade Medição Corrente SRW01-UMC5	420A	3
SRW01-UMC6 ¹¹	Unidade Medição Corrente SRW01-UMC6	840A	3
SRW01-UMCT1 ¹¹	Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT1	5A	3
SRW01-UMCT2 ¹¹	Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT2	12,5	3
SRW01-UMCT3 ¹¹	Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT3	25A	3
SRW01-UMCT4 ¹¹	Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT4	125A	3
SRW01-UMCT5 ¹¹	Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT5	420A	3
SRW01-UMCT6 ¹¹	Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT6	840A	3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Basicamente, todos os modelos oferecem as mesmas características, diferenciando-se apenas das faixas de medição de corrente, de 5 A até 840 A e tensão até 690 V para os modelos UMCT. Os modelos que atenderiam as especificações são:

¹¹ Disponíveis em:

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/search?text=unidades+de+medi%C3%A7%C3%A3o+de+corrente>

5.4.3.3.1. Unid. Medição Corrente SRW01-UMC3

- Faixa de medição de corrente: 2,5-25A, 50/60Hz;
- Alimentação 110-240V ou 24V CA/CC;
- Unidade de controle com 4 entradas e 4 saídas digitais (6 entradas e 4 saídas digitais para versão Ethernet);
- Fixação por trilho DIN;
- Registro e estatísticas de falhas;
 - Sobrecorrente e subcorrente;
 - Fuga à terra;
- Proteção: IP00, IP20 e IP54;
- Preço: R\$ 1.563,00.

Figura 10 - Unidade Medição Corrente SRW01-UMC3 Weg

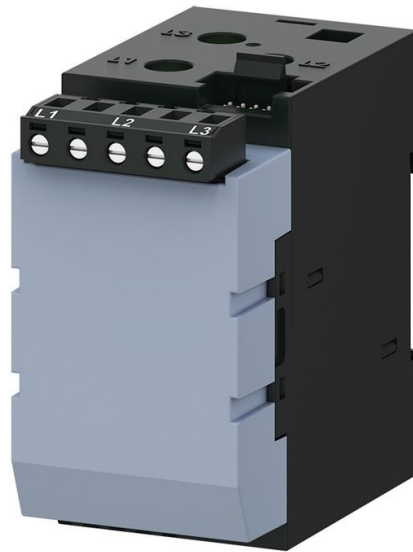


Fonte: WEG, Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Rel%C3%A9s-Inteligentes/Rel%C3%A9-Inteligente-SRW01/Unidades-de-Medi%C3%A7%C3%A3o-de-Corrente/UNIDADE-MEDICAO-CORRENTE-SRW01-UMC3/p/10558181>, Acesso em: 02 set. 2024.

5.4.3.3.2. Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT3

- Faixa de medição de corrente: 2,5-25A, 50/60Hz;
- Alimentação 110-240V ou 24V CA/CC;
- Monitora tensão até 690V;
- Unidade de controle com 4 entradas e 4 saídas digitais (6 entradas e 4 saídas digitais para versão Ethernet);
- Fixação por trilho DIN;
- Registro e estatísticas de falhas;
 - Sobrecorrente e subcorrente;
 - Fuga à terra;
 - Sobretensão e subtensão.
- Proteção: IP00, IP20 e IP54;
- Preço: R\$ 1.660,00.

Figura 11 - Unid. Medição Corrente/Tensão SRW01-UMCT3 Weg.



Fonte: WEG, Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Rel%C3%A9s-Inteligentes/Rel%C3%A9-Inteligente-SRW01/Unidades-de-Medi%C3%A7%C3%A3o-de-Corrente-e-Tens%C3%A3o/UNIDADE-MEDICAO-C-T-SRW01-UMCT3/p/11751276>, Acesso em: 02 set. 2024.

As duas unidades de medição de correntes apresentadas nos itens 5.4.3.3.1. e 5.4.3.3.2. mostradas nas Figuras 10 e 11, respectivamente, atenderiam as especificações. Contudo os seus custos elevados inviabilizariam a aquisição para o monitoramento do aparelho de ar condicionado. Elas seriam mais indicadas para equipamentos industriais mais complexos e preços significativos, pois oferecem

versatilidade de protocolos de comunicação em rede e o software de monitoramento incluso no preço.

5.4.3.4. Analisador e medidor de energia

Esses dispositivos permitem uma avaliação confiável de grandezas elétricas como tensão, corrente, potência ativa e reativa, fator de potência, distorções harmônicas e desequilíbrios de fases. Desempenham funções que vão da simples medição básica de consumo até a identificação de problemas relacionados à qualidade de energia, permitindo a identificação precoce de falhas facilitando as manutenções.

5.4.3.4.1. Analisador e medidor de energia DMI-F200R

A Isso é uma empresa brasileira que oferece uma plataforma online de telemetria, para análise e medição de energia, água, gás e processos produtivos. (“Isso”, 2024). Oferece software de análise 100% gratuito que mostra, em tempo real, a qualidade da energia, consumo e possíveis falhas. Ou seja, monitora e registra parâmetros elétricos como tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência e harmônicos. Os produtos que medem corrente elétrica são:

Tabela 9 - Analisador e Medidor de Energia - Empresa: Isso.

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
DMI-F200R ¹²	Analisador medidor de energia DMI F200R Black Box	200A	3
DMI-F500R ¹³	Analisador medidor de energia DMI F500R Black Box	500A	3
DMI-F1000R ¹⁴	Analisador medidor de energia DMI F1000R Black Box	1000A	3
DMI-F2000R ¹⁵	Analisador medidor de energia DMI F2000R Black Box	2000A	3
DMI-F3000R ¹⁶	Analisador medidor de energia DMI F3000R Black Box	3000A	3
DMI-F4000R ¹⁷	Analisador medidor de energia DMI F4000R Black Box	4000A	3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

¹² Disponível em: <https://isso.digital/arquivo/2544>

¹³ Disponível em: <https://isso.digital/produto/153/1>

¹⁴ Disponível em: <https://isso.digital/produto/154/1>

¹⁵ Disponível em: <https://isso.digital/produto/155/1>

¹⁶ Disponível em: <https://isso.digital/produto/234/1>

¹⁷ Disponível em: <https://isso.digital/produto/235/1>

O modelo DMI-F200R seria suficiente para atender as especificações:

- Medições de corrente até 200A e tensão até 660V;
- Analisa e/ou armazena pelo DMI corrente Fase A, B, C (individual de cada fase + média);
- Identifica falhas, picos de demanda, problemas de qualidade de energia e ineficiência;
- Conexões Wi-Fi, Ethernet Lan 10/100 e rede móvel celular/GSM;
- Software para análise e monitoramento gratuito;
- Modelo de gabinete com furos oblongos para fixação de sobrepor e sistema de fixação magnética;
- Grau de proteção: IP40;
- Preço: R\$ 3.180,00.

Figura 12 - Analisador medidor de energia DMI F200R Black Box



Fonte: ISSO, Disponível em: <https://isso.digital/produto/180/1#gallery-1>, Acesso em: 02 set. 2024

Os dispositivos da Ippo são robustos e, por isso, possuem custos elevados variando do mais simples DMI-F200R, Figura 12, com preço de R\$ 3.180,00 até o modelo mais caro DMI-F4000R com preço de R\$ 6.980,00. Nesse caso, atenderiam equipamentos industriais que exigissem um valor de corrente muito superior aos 14,38 A das especificações do aparelho de ar condicionado.

5.4.3.4.2. Analisador portátil de qualidade de energia SMG7000

Dispositivo chinês fabricado pela *Wuahn UHV Power Technology Co., Ltd.* (“Wuhan UHV Power Technology Co., Ltd.”, 2024). Além de fabricar, a empresa desenvolve, vende e presta serviços em equipamentos ou sistemas de testes de energia elétrica.

Tabela 10 - Analisador e Medidor de Energia - Empresa: Wuahn

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
SMG7000 ¹⁸	Analisador portátil de qualidade de energia	1000A	3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Características do dispositivo:

- Faixa de medição: corrente até 1000A e tensão até 700V;
- Capacidade para coletar e analisar dados;
- Possui software para análise de dados via computador;
- Preço: U\$ 1.700,00 – R\$ 9.469,00 (cotação dólar comercial de compra: R\$ 5,5696 – Fonte: Banco Central do Brasil (“Banco Central do Brasil - Fechamento diário do dólar.”, 2024)).

Figura 13- Analisador portátil de qualidade de energia modelo SMG7000.



Fonte: WUAHN, Disponível em: <https://www.hvtest.cc/377/>, Acesso em: 03 set. 2024.

¹⁸ Disponível em: <https://www.hvtest.cc/377/>

A Empresa não fornece maiores informações sobre o dispositivo SMG700, Figura 13, como grau de proteção, dentre outras. A conexão com o computador é dada por via USB para *upload* dos dados coletados e atualização do software de análise em que o custo, está incluso no preço do dispositivo. Trata-se de um produto de custo elevado e sem maiores referências para atestar a sua confiabilidade, possui garantia reduzida, tornando a sua aquisição um risco.

5.4.3.4.3. Analisador portátil de energia elétrica trifásico MI550

Outro dispositivo fabricado na China pela *Shanghai Pinyan Techonology M&C Co., Ltd.* detentora da marca Meatrol e especializada na fabricação de bobinas Rogowski; integradores e medidores de potência e analisadores de qualidade de energia como o MI550 (ROGOWSKI COIL, 2024). Tem capacidade para medir diversos parâmetros elétricos como corrente, tensão, fator de potência, potência, dentre outros.

Tabela 11 - Analisador e Medidor de Energia - Empresa: Meatrol

Modelo	Descrição	Imáx.	Nº Fases
MI550 ¹⁹ /SCT-016 ²⁰	Analisador portátil de qualidade de energia MI550 integrado com o sensor corrente modelo SCT-016	150A	3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Características:

- Faixa de medição de corrente até 150 A, corrente nominal 100 A e de tensão até 600 Vac;
- Comunicação via Ethernet RJ45, protocolo Modbus TCP;
- Grau de proteção: IP30;
- Preço: R\$ 1.112,00.

¹⁹ Disponível em: <http://www.rogowski.cn/Private/ProductFiles/6379506766942847121043904021.pdf>

²⁰ Disponível em: <http://www.rogowski.cn/Private/ProductFiles/637405319022110660325357720.pdf>

Figura 14 - Analisador portátil de qualidade de energia MI550 integrado com o sensor de energia modelo SCT-016.



Fonte: MEATROL, Mi550 Handheld Three Phase Power Quality Analyzer – Manual – V1.0.220713, p. 1.

Trata-se de um aparelho portátil, como mostra a Figura 14. Segundo o fabricante, atende faixa de medição muito acima das especificações do aparelho de ar condicionado. Como o dispositivo anterior, também não possui maiores referências de sua qualidade, apesar do manual ser bem detalhado. Sua compra também seria um risco, pelos mesmos motivos dos produtos importados da China.

Por outro lado, ele poderia ser um equipamento interessante para técnicos e equipes de manutenção, quando houver a necessidade de monitoramentos pontuais de equipamentos, em locais diversos, devido a sua portabilidade. O seu custo não o tornaria inviável em uma situação como essa.

5.5. Resultados das Análises

5.5.1. Temporizadores

São os dispositivos mais simples e baratos encontrados no mercado. Entretanto, nenhum deles atenderia as especificações para o monitoramento da corrente elétrica nos condutores. Isso ocorre porque a sua função é restrita em ligar ou desligar o circuito nos horários pré-estabelecidos. Possuem funções voltadas para economia e evitar desperdício de energia e não para monitor qualquer grandeza elétrica. Além disso, não possuem sistema de proteção para sub ou sobrecargas. No mercado há temporizadores com sensores de presença integrados, para evitar que os aparelhos eletroeletrônicos permaneçam ligados caso o ambiente onde estão instalados esteja vazio ou em períodos ociosos. Estes dispositivos somente foram incluídos no trabalho devido a elevada disponibilidade no mercado, principalmente, para a utilização em sistemas de refrigeração.

5.5.2. Relé de controle de corrente

O modelo RM17JC00MW da Schneider seria o dispositivo mais interessante que atenderia as especificações. Ele monitora e controla a corrente, possui transformador de corrente incorporado, em redes trifásicas e, segundo o fabricante, apresenta configurações simples e precisas. Ele fornece gerenciamento de desligamento automático e informações de falhas ao usuário para uma rápida identificação e solução de problemas.

O seu preço, em torno de R\$ 250,00, é interessante economicamente, tornando viável a sua aquisição por pequenas e médias empresas. Além disso, a empresa fornecedora do dispositivo oferece uma de garantia de 18 meses e suporte técnico on-line via *WhatsApp* para dirimir dúvidas de instalação e configuração.

5.5.3. Unidades de Medição de Corrente

Comercializados pela Weg possuem uma versatilidade de comunicação em diversos protocolos, com reconhecimento automático, de redes. Segundo a Weg, “as opções de monitoramento on-line, diagnósticos de falhas e estatística de falhas tornam a manutenção preventiva mais eficaz, reduzindo assim o número de paradas” e, conseqüentemente, prejuízos ao reduzir danos aos equipamentos monitorados.

São dispositivos mais robustos, com custos em torno de R\$ 1.600,00, mais indicados para equipamentos complexos e exigentes. Para que sejam utilizados no monitoramento da corrente, é necessário a inclusão de uma Unidade de Expansão Digital (EDU) que elevaria o custo dos dispositivos para R\$ 2.670,00. Os modelos SRW01-UMC3 (mede apenas corrente) e SRW01-UMCT3 (mede corrente e tensão) atenderiam as especificações, todavia, os custos de aquisição os tornam inviáveis economicamente para equipamentos mais simples como ar condicionado.

5.5.4. Analisador e medidor de energia

São os mais completos dispositivos para monitoramento de diversas grandezas elétricas, em tempo real. Com isso, permitem tomadas de decisões de forma imediata. Os fornecedores oferecem softwares de monitoramento gratuitos para gerenciamento e análise dos dados.

Os preços elevados, variam conforme o número de parâmetros que são capazes de medir da rede elétrica, inviabilizam a aquisição por pequenas e médias empresas. Eles atenderiam as especificações, principalmente pela sua capacidade de medir valores de corrente muito acima do necessário. Entretanto, o alto custo impede a sua utilização para monitorar aparelhos de ar condicionado.

O analisador portátil de qualidade de energia MI550 integrado com o sensor de corrente modelo SCT-016 seria uma opção interessante para ser utilizado por técnicos ou equipes de manutenção, pois o seu custo próximo de R\$ 1.100,00 com o sensor incluso, viabilizaria o risco da aquisição. Ele tem a versatilidade de ser portátil e poderia ser utilizado para monitorar diversos equipamentos *in loco* por um determinado período.

6. CONCLUSÕES

Foi possível verificar que o mercado disponibiliza inúmeras soluções para o monitoramento, medição e, em alguns casos, análise da corrente elétrica. Todavia o trabalho apresentou apenas aqueles que atenderiam as especificações do circuito elétrico em que aparelho de ar condicionado estaria ligado. Ainda assim, apresentou-se apenas aqueles que teriam informações de suas especificações e documentação técnica suficiente para a análise e que seriam viáveis economicamente.

Apresentou-se também alguns produtos que não atenderiam as especificações, mas que faziam parte do portfólio de fabricantes ou distribuidores. O intuito foi mostrar a variedade de opções disponibilizadas pelo mercado. Com isso, possibilitam variadas opções de escolhas, do mais simples como os temporizadores com custos baixos aos mais complexos como os analisadores e medidores de grandezas elétricas, porém com preços elevados.

Com essa diversidade, seria necessário analisar também a viabilidade econômica do monitoramento. Um aparelho de ar condicionado como o modelo especificado nesse trabalho, custa entre R\$ 8.000,00 e R\$ 13.000,00, aproximadamente. Sendo assim, o dispositivo teria que ter a capacidade técnica, mas com um valor razoável para justificar a sua aquisição.

A melhor escolha entre os dispositivos apresentados e que atenderia as especificações do circuito e que poderia mitigar a possibilidade de ocorrer um princípio de incêndio, como o ocorrido, seriam os Relés de Controle de Corrente que além de monitorar a corrente, são capazes de interrompê-la em caso de falhas. Além disso, são economicamente viáveis devido aos preços acessíveis e facilidade de configuração e manutenção.

As unidades de medição de corrente, necessitam de outro dispositivo ou software para monitorar corrente elétrica, pois eles apenas podem indicar e transmitir os valores da corrente. Integrados a outros dispositivos ou software de controle, atenderiam a especificações, mas elevaria o custo de aquisição. Desta forma, os custos inviabilizariam a utilização para monitorar aparelhos de ar condicionado.

Os analisadores e medidores de energia também atenderiam, porém seus custos elevados impossibilitariam a sua utilização no monitoramento do aparelho de

ar condicionado, pois são equipamentos completos que, além de registrar, analisam diversas grandezas simultaneamente. Além disso, estão inclusos em seus custos, softwares para análise em tempo real da qualidade e consumo da energia e monitorar grandezas elétricas que permitem a detecção precoce de possíveis falhas, facilitando as manutenções das instalações.

Por fim, com o avanço das tecnologias, principalmente relacionadas ao acesso à Internet com qualidade e altas velocidades, seria necessário comentar nesse trabalho sobre os dispositivos conectados à rede com tecnologia IoT. É possível encontrar empresas oferecendo soluções de controle de corrente com essa ferramenta, mas apresentam os produtos somente com pedido de demonstração ou algum tipo de consulta com possibilidade de uma futura compra. Encontra-se disponível no mercado diversas tomadas inteligentes, todavia, em sua maioria voltadas para a medição de energia e para ligar e desligar equipamentos remotamente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Instalações elétricas de baixa tensão - NBR 5410**. [s.l: s.n.].

Abracopel. Disponível em: <<https://abracopel.org/a-abracopel/>>. Acesso em: 28 ago. 2024.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br>>. Acesso em: 5 set. 2024.

ARAÚJO, A. R. DE et al. **MONTAGEM DO PAINEL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: segurança em instalações elétricas**. 6 Simpósio de Tecnologias da Fatec de Sertãozinho (SITEFA/Stz). **Anais...**Fatec Sertãozinho, 11 dez. 2023.

Banco Central do Brasil - Fechamento diário do dólar.

BARBOSA, J. M. DA S. Analisador de Energia Elétrica. **Universidade de Aveiro - Departamento de Eletrônica, Telecomunicações e Informática**, 2012.

Coel . Disponível em: <<https://www.coel.com.br/empresa/>>. Acesso em: 3 set. 2024.

DAVID HALLIDAY; ROBERT RESNICK; JEARL WALKER. **Física 3 Eletromagnetismo Halliday**. 10^a ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. Volume 3

DOU. **Lei 9.991**. Disponível em: <[EPE. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2024 - ANO BASE 2023**. Brasília: \[s.n.\]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 5 set. 2024.](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm#:~:text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20investimentos,el%C3%A9trica%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.>>. Acesso em: 5 set. 2024.</p>
</div>
<div data-bbox=)

Isso. Disponível em: <<https://isso.digital/#empresa>>. Acesso em: 1 set. 2024.

KOMECO. **Condicionadores de Ar Série KOP (Piso Teto) G2**. Manual de Instalação Versão 14.05.12, página 14.: [s.n.].

MEDEIROS, F. DE P. **ELETRICISTA: MATERIAIS ELÉTRICOS**. 2010.

Metaltex. Disponível em: <<https://www.metaltex.com.br/empresa>>. Acesso em: 3 set. 2024.

METALTEX. **Manual de Instruções Relé Controlador de Corrente DCI2AD-W**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.metaltex.com.br/assets/produtos/pdf/m_dci2ad.pdf>. Acesso em: 3 set. 2024.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA - SECRETARIA NACIONAL DO CONSUMIDOR. **CÓDIGO DE PROTEÇÃO E DEFESA DO CONSUMIDOR**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/seus-direitos/consumidor/Anexos/cdc-portugues-2013.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2024.

MORENO, H. Aterramento Elétrico. **International Copper Association Brazil**, [s.d.].

PATSKO, L. F. **Tutorial Controle de Relés**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.maxwellbohr.com.br><http://www.automato.com.br>>.

RAMOS LOPES, E.; CERQUEIRA, M.; BRASIL, S. **Importância Dos Dispositivos De Proteção Do Circuito Elétrico Residencial**. [s.l: s.n.].

ROGOWSKI COIL. **Meatrol Electrical**. Disponível em: <<http://www.rogowski.cn/>>. Acesso em: 5 set. 2024.

SAMPAIO, A. L. P. **CONSOLIDAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO PARA A DISCIPLINA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS -DISJUNTORES**. [s.l: s.n.].

Schneider Eletric. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/about-us/company-profile/>>. Acesso em: 5 set. 2024.

SCHNEIDER ELETRIC. **Folha de dados do produto RM17JC00MW**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/product/RM17JC00MW/rel%C3%A9-de-controle-de-corrente-fun%C3%A7%C3%A3o-%C3%BAnica-2naf-2-20a-24-240vca-cc/?range=528-rel%C3%A9s-de-controle-harmony&parent-subcategory-id=2810&selectedNodeld=12147013871>>. Acesso em: 5 set. 2024a.

SCHNEIDER ELETRIC. **O que é DPS ou Dispositivo de Proteção contra surtos?** Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/work/local-content/dps-dispositivo-protecao-contrasurtos/>>. Acesso em: 29 set. 2024b.

SIBA. Definições das classes de operação dos fusíveis, conforme norma IEC. 2024.

SILVA DA ROCHA, G. **ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**. [s.l: s.n.].

TAVNER, P. J. Review of condition monitoring of rotating electrical machines. **IET Electric Power Applications**, v. 2, n. 4, p. 215–247, 2008.

TORRES, A. B. B.; ROCHA, A. R.; SOUZA, J. N. DE. Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo. In: Wperformance - Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação. Porto Alegre. 2016.

Weg. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/>>. Acesso em: 2 set. 2024.

Wuhan UHV Power Technology Co., Ltd. Disponível em: <<https://www.hvtest.cc/>>. Acesso em: 5 set. 2024.