



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

DAVI VUOLO COLLE

MILENA GASPAR DE OLIVEIRA

**TERMOGRAFIA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES POR CONEXÕES,
PRODUTOS IRREGULARES E MAL DIMENSIONADOS NA MANUTENÇÃO
ELÉTRICA**

Tubarão

2020

**DAVI VUOLO COLLE
MILENA GASPAR DE OLIVEIRA**

**TERMOGRAFIA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES POR CONEXÕES,
PRODUTOS IRREGULARES E MAL DIMENSIONADOS NA MANUTENÇÃO
ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Luis Fernando Ferreira De Campos, Ms.

Tubarão
2020

**DAVI VUOLO COLLE
MILENA GASPAR DE OLIVEIRA**

**TERMOGRAFIA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES POR CONEXÕES,
PRODUTOS IRREGULARES E MAL DIMENSIONADOS NA MANUTENÇÃO
ELÉTRICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

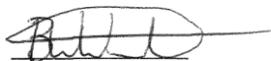
Tubarão, 08 de dezembro de 2020.



Professor e orientador Luis Fernando Ferreira De Campos, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Francisco Duarte de Oliveira, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Bruno William Wisintainer, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedicamos este trabalho aos nossos pais e colegas por todo o apoio. Sem eles não chegaríamos aonde chegamos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente às nossas famílias, por nos incentivarem em toda a nossa formação acadêmica até então, sempre apoiando nossas escolhas durante todo esse caminho, principalmente nossos pais, sem os quais nós teríamos de enfrentar desafios muito maiores para chegar até aqui.

Aos funcionários, da empresa Contato Materiais Elétricos, por nos auxiliarem na parte técnica deste trabalho.

Aos nossos colegas de curso, que passaram pelas dificuldades e aprendizados juntos a nós.

Agradecemos ao coordenador de nosso curso, Francisco Duarte de Oliveira por procurar sempre trazer novas oportunidades para aprimorar as habilidades dos acadêmicos.

Agradecemos aos professores desde nosso ingresso à faculdade, essenciais a todos os conhecimentos que possuímos ao longo deste curso, sendo em especial este agradecimento aos professores que nos auxiliaram neste trabalho, nosso orientador Luis Fernando Ferreira de Campos, nossas professoras da disciplina de trabalho de conclusão de curso Silvana Madeira Alves Dal-bó e Adriana Salvador Zanini.

“A linguagem da experiência tem mais autoridade do que qualquer raciocínio: fatos podem destruir o nosso raciocínio - o contrário, não.” (ALESSANDRO VOLTA).

RESUMO

Os acidentes de origem elétrica em baixa tensão podem ser causados por diversos fatores, logo, tal estudo teve por finalidade analisá-los (visando a prevenção) em meios comerciais e residenciais com a utilização da termografia para se obter uma maior visibilidade e segurança de como a qualidade dos produtos utilizados e o modo que as conexões são feitas podem afetar os sistemas elétricos a ponto de causar tais acidentes. Este estudo utilizou de termografia, pois é uma técnica eficaz na detecção de pontos que apresentam superaquecimento, um dos principais fatores a se analisar tratando de acidentes elétricos. Através de inspeções de sistemas elétricos, além de aumentar a segurança e a confiabilidade, os equipamentos conectados poderão expressar um aumento em sua vida útil, já que é comum haver a ampliação de cargas sem um estudo técnico (principalmente em residências e condomínios), o que muitas vezes causa também sobrecargas e curtos nas instalações elétricas. Alguns componentes sofrem com o desgaste simplesmente por conta do tempo, como por exemplo os condutores, os quais sofrem com a redução da sua isolamento, ou os contatos elétricos, que perdem a condução por estarem oxidados, esses problemas podem ser detectados com a utilização da técnica de termografia.

Palavras-chave: Condutores. Curto-Circuito. Dimensionamento. Inspeção. Manutenção Preventiva. Manutenções Elétricas. Prevenção Acidentes Elétricos. Qualidade Produtos. Sobrecorrente.

ABSTRACT

Accidents of electrical origin at low voltage can be caused by several factors, therefore, this study aimed to analyze them (aiming at prevention) in commercial and residential environments with the use of thermography to obtain greater visibility and safety of how the quality of the products used and the way the connections are made can affect the electrical systems to the point of causing such accidents. This study used thermography, as it is an effective technique in detecting points that present overheating, one of the main factors to be analyzed when dealing with electrical accidents. Through inspections of electrical systems, in addition to increasing safety and reliability, the connected equipment may express an increase in its useful life, since it is common to have an increase in loads without a technical study (especially in homes and condominiums), which often also causes overloads and short circuits in electrical installations. Some components suffer from wear simply due to time, such as conductors, which suffer from reduced insulation, or the electrical contacts, which lose their conduct due to being oxidized, these problems can be detected with the use of thermography technique.

Keywords: Conductors. Electrical Accident Prevention. Electrical Maintenance. Inspection. Overcurrent. Preventive Maintenance. Quality Products. Short Circuit. Sizing. Thermography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comparação entre as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit.	21
Figura 2 - Espectro Eletromagnético.	24
Figura 3 - Disjuntor danificado devido a uma conexão mal feita.	30
Figura 4 – Fusível NH Ultra Rápido aR 500A Negrini NH 2-500 / 500.....	31
Figura 5 - Comparação entre cabos paralelos.....	35
Figura 6 - Câmera térmica FLIR ONE Pro.	36
Figura 7 - Imagem MSX.....	37
Figura 8 - Imagem Digital.	38
Figura 9 - Imagem Térmica.	38
Figura 10 - Aparelho 1 (Direita) e Aparelho 2 (Esquerda).....	39
Figura 11 - Comparação entre a secção transversal dos cabos utilizados no experimento.	42
Figura 12 - Tipo de disjuntor utilizado no experimento.....	43
Figura 13 - Inspeção 01 (Temperatura Fase A).....	47
Figura 14 - Inspeção 01 (Temperatura Fase B).	47
Figura 15 - Inspeção 01 (Temperatura Fase C).	48
Figura 16 - Inspeção 01 (Corrente Fase A – 13,2 A).	48
Figura 17 - Inspeção 01 (Corrente Fase B – 12,3 A).....	49
Figura 18 - Inspeção 01 (Corrente Fase C – 8,5 A).....	49
Figura 19 - Inspeção 01 parte 2 (Temperatura Fase A – 29,8 °C).....	50
Figura 20 - Inspeção 01 parte 2 (Temperatura Fase B – 30,5 °C).....	50
Figura 21 - Inspeção 01 parte 2 (Temperatura Fase C – 30,8 °C).....	50
Figura 22 - Inspeção 02 (Caixa de disjuntores).....	51
Figura 23 - Inspeção 02 (Temperatura no condutor).....	52
Figura 24 - Inspeção 02 (Temperatura no disjuntor).....	53
Figura 25- Inspeção 02 (Chuveiro).....	53
Figura 26 - Inspeção 03 (Chuveiro Instalado com Cabo 2,5mm ²)	55
Figura 27 - Inspeção 03 (Disjuntor Chuveiro Ligado com Cabo 2,5 mm ²)	55
Figura 28 - Inspeção 03 (Temperatura no condutor).....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados totais consolidados de acidentes de origem elétrica em 2018.	15
Gráfico 2 - Dados totais consolidados de acidentes de origem elétrica em 2019.	15
Gráfico 3 - Preço do cobre ao longo do segundo trimestre de 2020.	34
Gráfico 4 – Inspeção 02 (Temperatura de condutor e disjuntor ao longo do tempo).....	52
Gráfico 5 - Inspeção 03 (Temperatura de condutor e disjuntor ao longo do tempo)	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de Energia Elétrica no Mundo - 10 maiores países em 2016 (TWh).....	14
Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente, em amperes, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D.....	29
Tabela 3 - Temperaturas características dos condutores	33
Tabela 4 - Método de Instalação.....	40
Tabela 5 - Capacidades de Condutores de Condução de Corrente.....	40
Tabela 6 - Área ocupada pelos cabos.	41
Tabela 7 - Dimensionamento Eletrodutos Rígidos de PVC Rosqueados.....	41
Tabela 8 - Experiência 01.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 DELIMITAÇÕES	18
1.5 METODOLOGIA	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 TEMPERATURA	20
2.1.1 Medidas de Temperatura	20
2.2 FENÔMENOS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA POR CALOR	21
2.2.1 Condução.....	22
2.2.2 Convecção	22
2.2.3 Radiação.....	23
2.2.3.1 Radiação Infravermelha.....	23
2.2.3.1 Lei de Planck	24
2.2.3.2 Lei de Stefan-Boltzman.....	25
2.2.3.3 Lei do Deslocamento de Wien	25
2.2.3.4 Emissividade.....	25
2.3 EFEITO JOULE.....	26
2.4 TERMOGRAFIA.....	26
2.4.1 Câmeras Termográficas	27
2.5 CONDUTORES ELÉTRICOS	27
2.6 SOBRECORRENTE.....	29
2.6.1 Curto – Circuito	30
2.6.2 Alguns Dispositivos de Proteção	31
2.6.2.1 Fusíveis.....	31
2.6.2.2 Dispositivo de Proteção Diferencial-Residual.....	31
2.6.2.3 Relé de Sobrecarga	31
2.6.2.4 Disjuntor.....	32

2.6.2.5 Disjuntor-Motor.....	32
2.6.3 Limite Térmico dos Condutores	32
2.7 CHOQUES ELÉTRICOS	33
2.8 CONDUTOR DESBITOLADO	33
3 EXPERIÊNCIAS E AFERIÇÕES REALIZADAS.....	36
3.1 CÂMERA TÉRMICA FLIR ONE PRO.....	36
3.2 EXPERIÊNCIA 01	39
3.3 INSPEÇÃO 01	47
3.4 INSPEÇÃO 02	51
3.5 INSPEÇÃO 03.....	54
4 CONCLUSÃO.....	58
4.1 CONCLUSÃO EXPERIÊNCIA 01	58
4.2 CONCLUSÃO INSPEÇÃO 01.....	58
4.3 CONCLUSÃO INSPEÇÃO 02.....	58
4.4 CONCLUSÃO INSPEÇÃO 03.....	59
4.5 CONCLUSÃO GERAL.....	59
4.6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS	61
ANEXO – FLIR ONE PRO DATASHEET	64

1 INTRODUÇÃO

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2019 coloca o Brasil entre os dez maiores consumidores de energia elétrica no mundo, conforme demonstrado na Tabela 1. Com um consumo médio anual superando os 500 TWh (2,4% de todo o consumo mundial), fica evidente a necessidade do aumento das precauções a serem tomadas em relação aos acidentes de origem elétrica, principalmente quando se analisa os dados referentes a estes acidentes.

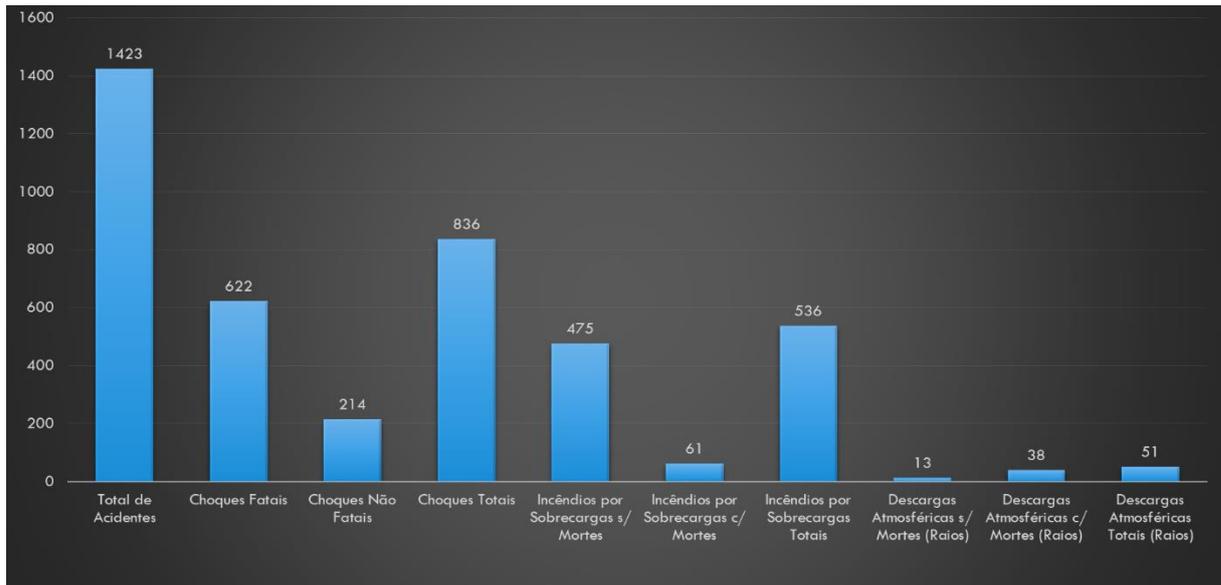
Tabela 1 - Consumo de Energia Elétrica no Mundo - 10 maiores países em 2016 (TWh).

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ (2016/2015)	Part. % 2016
Mundo	7.324,8	7.412,6	7.571,0	7.869,7	8.359,3	2,8	100,0
China	4.435,3	4.845,4	5.066,5	5.251,2	5.563,9	6,0	25,5
Estados Unidos	3.832,3	3.868,3	3.903,3	3.900,2	3.902,3	0,1	17,9
Índia	845,8	898,3	974,2	1.046,6	1.136,5	8,6	5,2
Japão	945,9	967,2	950,6	943,7	943,7	0,0	4,3
Rússia	889,1	881,1	891,1	890,1	909,6	2,2	4,2
Alemanha	546,3	544,3	532,7	536,3	536,5	0,0	2,5
Canadá	516,5	532,9	535,1	524,3	522,2	-0,4	2,4
Brasil	498,4	516,2	532,6	524,6	520,0	-0,9	2,4
Coreia do Sul	482,8	487,8	495,0	498,5	507,6	1,8	2,3
França	454,5	456,7	434,3	442,8	450,8	1,8	2,1
Outros	3.648,9	3.647,9	3.824,3	3.969,3	4.195,8	2,5	31,2

Fonte: Adaptado de EPE – Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019 (2019, p. 52).

O Gráfico 1 e o Gráfico 2 a seguir, retirados dos Anuários Estatísticos de Acidentes de Origem Elétrica, apresentam o número de acidentes elétricos no país, com dados de ano base 2018 e 2019 respectivamente, causados por descargas atmosféricas, incêndios por sobrecargas, curtos-circuitos sem incêndios e choques. Isso ainda considerando que existem casos não reportados e alguns que não podem ser classificados como sobrecargas, ou seja, quando os curtos-circuitos não são legitimados.

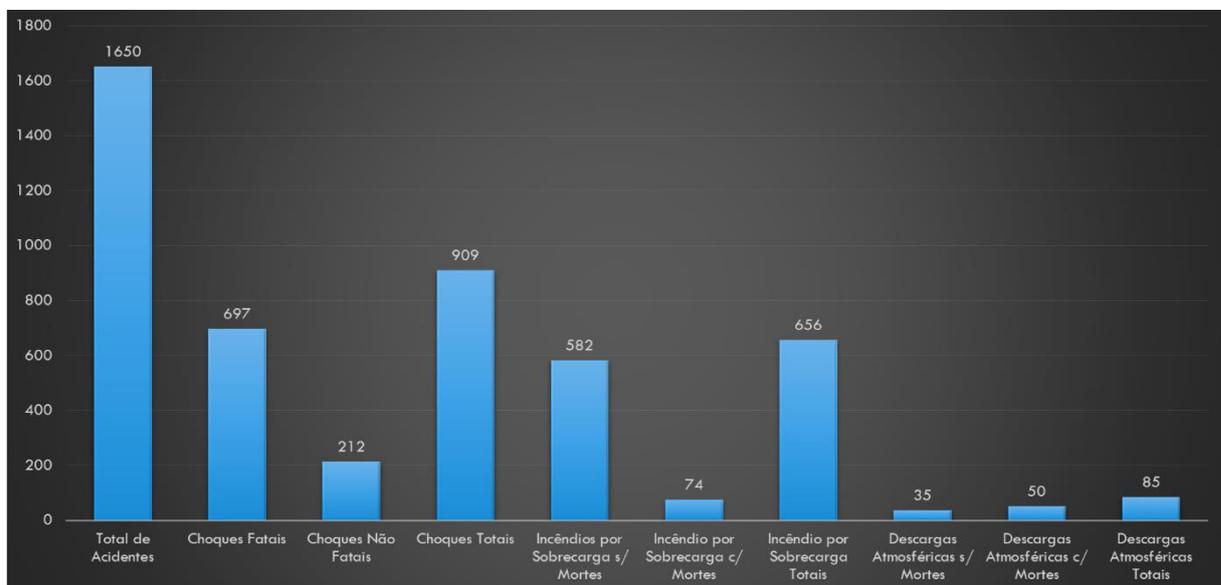
Gráfico 1 - Dados totais consolidados de acidentes de origem elétrica em 2018.



Fonte: Adaptado de Abracopel – Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica (2019, p. 28).

No Gráfico 2 percebe-se o aumento de acidentes com choques elétricos, de 836 no ano de 2018 para 909 no ano de 2019, e de choques fatais de 622 para 697.

Gráfico 2 - Dados totais consolidados de acidentes de origem elétrica em 2019.



Fonte: Adaptado de Abracopel – Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica (2020, p. 20).

O presente trabalho abrange a área de manutenções residenciais, prediais e comerciais, sendo essas manutenções realizadas em baixa tensão.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2019) aponta que em 2016 o consumo mundial de energia elétrica foi de 8359,3 TWh. Segundo dados apresentados pelo site *World Population Clock*, - que se dispõe a contabilizar a população do mundo em tempo real - naquele mesmo ano a população mundial esteve em torno de 7,5 bilhões. Cruzando os números obtêm-se uma média de 1114,57 kWh por pessoa ao ano, sendo que o consumo de energia elétrica, assim como a população mundial, tende a aumentar. Com base nesse rápido cálculo, fica evidente o quão dependente da energia elétrica a humanidade se tornou, no entanto, como todo avanço que gere dependência à civilização, a segurança às vezes é deixada de lado diante a desenfreada marcha do progresso. É claro que tal segurança evoluiu muito desde a época em que Benjamin Franklin empinou uma pipa em meio a uma tempestade para depois inventar o para-raios, contudo, a cada ano que passa o número de acidentes de origem elétrica vem aumentando, conforme demonstrado no Gráfico 1 e no Gráfico 2.

A Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (Abracopel), com o objetivo de organizar e desenvolver conceitos de segurança e técnicas de controle seguro do risco em instalações e serviços com eletricidade, traz desde o ano de 2013 um anuário estatístico de acidentes de origem elétrica, tais como incêndios por sobrecarga ou curto-circuito, choques elétricos e descargas atmosféricas, para poder assim buscar e desenvolver maneiras de evitá-los.

Diversos estudos apontam que uma maneira deveras eficiente de evitar que tais acidentes venham a ocorrer é através de técnicas de manutenção preventiva, a qual tem por objetivo impedir ou ao menos reduzir ao máximo as possíveis falhas que um sistema possa apresentar. As vantagens que tal método apresenta são claras, não apenas em termos econômicos, mas principalmente na proteção da vida e saúde humana. Entretanto, em muitos casos, empresas ou indivíduos ainda preferem optar por realizar apenas a manutenção corretiva após algum componente no sistema apresentar defeito e levar a algum tipo de pane, o que pode ser muito perigoso. Esse comportamento pode ser motivado pela desinformação que leva muitos a crerem que a manutenção preventiva é algo caro (o que não é verdade visto que certos acidentes podem acarretar prejuízos enormes, sem contar o valor imensurável de uma vida humana) ou muito complexo.

Este trabalho tem como intuito verificar a viabilidade da utilização da termografia na prevenção de acidentes de origem elétrica em baixa tensão utilizando uma tecnologia de fácil utilização (câmera termográfica, que pode ser considerada uma ferramenta de

manutenção preventiva) para com a manutenção elétrica residencial e comercial, uma vez que praticamente qualquer anomalia num sistema elétrico gera superaquecimento de condutores ou componentes devido ao efeito Joule. Tal tecnologia foi utilizada com a finalidade de identificar patologias nos sistemas elétricos, tais como conexões mal feitas que muitas vezes são de grande dificuldade de serem encontradas quando estão causando algum problema, bem como produtos irregulares (de baixa qualidade, subdimensionados ou até mesmo não normalizados, como alguns adaptadores e cabos) que geralmente apresentam pontos de superaquecimento quando em utilização, os quais são facilmente distinguíveis em uma imagem térmica.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Existe uma grande dificuldade para se encontrar a origem de problemas de natureza elétrica como os curtos-circuitos, os quais podem causar sérios danos aos componentes de um sistema (tais como cabos, conectores, disjuntores, entre outros aparatos), equipamentos conectados a este e até às pessoas que possivelmente possam entrar em contato com tal patologia.

Tais problemas muitas vezes são causados por falta de habilidades ou inexperiência na realização das atividades de dimensionamento de cabos e a execução de conexões, ou pela baixa qualidade dos produtos utilizados para exercer tais serviços.

Para auxiliar na detecção dessas possíveis falhas, foi analisada a possibilidade de utilizar uma câmera térmica com finalidade de encontrar pontos de aquecimentos anormais em circuitos elétricos que denunciam possíveis anomalias no sistema.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o uso da câmera termográfica na prevenção de acidentes de origem elétrica por meio de experiências demonstrativas e manutenções em diferentes instalações.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar inspeções em sistemas elétricos com a finalidade de identificar pontos com superaquecimentos em circuitos com sobrecargas com maior facilidade;
- Averiguar os efeitos da qualidade de diferentes materiais em seu funcionamento (utilizados na manutenção elétrica) através de inspeções durante testes e manutenções;
- Diferenciar o modo de funcionamento dos equipamentos que seguem às normas que os classificam dos que não seguem, e dos que não estão sendo utilizados de acordo com o dimensionamento correto.
- Demonstrar o uso da câmera térmica em ambientes reais e não apenas em ambientes ideais simulados.

Sendo todos estes objetivos alcançados através da utilização da termografia.

1.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho abordou técnicas de termografia buscando prevenir/diminuir os índices de acidentes de origem elétrica comerciais e residenciais. Tal estudo é baseado em manutenções realizadas pela empresa Contato Com. e Inst. de Materiais Elétricos LTDA ME em circuitos elétricos em baixa tensão, com a utilização das imagens obtidas sendo previamente autorizada pelos clientes.

1.5 METODOLOGIA

O trabalho a seguir foi realizado seguindo o método de pesquisa quantitativa (cálculos e valores correntes, temperaturas) tomando por base as seguintes normas:

- NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão)
- NBR 5419 (Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas)
- NM-247-3 (Cabos Isolados com Policloreto de Vinila (PVC) Para Tensões Nominais Até 450/750 V Inclusive Parte 3: Condutores Isolados (Sem Cobertura) Para Instalações Fixas (IEC 60227-3, MOD))
- NBR 15572 (Ensaio Não Destrutivos — Termografia — Guia Para Inspeção de Equipamentos Elétricos e Mecânicos)

- NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade)
- NR 12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos)
- NBR NM 60898:2004 (Disjuntores Para Proteção de Sobrecorrentes Para Instalações Domésticas e Similares)
- NBR 5471 (Condutores Elétricos)

O trabalho foi feito fundamentado em pesquisas teóricas em livros, artigos e dissertações, físicos ou digitalizados; de fontes confiáveis, fácil entendimento e que estejam diretamente ligados ao tema abordado neste trabalho.

Quanto à infraestrutura, foi utilizada a termografia para os testes e manutenções com apoio da empresa Contato Com. e Inst. de Materiais Elétricos LTDA ME, tais atividades foram relacionadas à qualidade, ao dimensionamento e ao modo de instalação, efetuados em sistemas elétricos, em diferentes instalações. Como principal ferramenta de tal estudo foi utilizada uma câmera termográfica do modelo FLIR ONE Pro (seu *datasheet* segue como Anexo – FLIR ONE PRO DATASHEET).

Além de testes em manutenções, foi realizada também uma experiência demonstrativa utilizando de fiação e componentes inapropriados e apropriados para que seja possível fazer comparações na aferição de temperaturas de ambos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é constituído por 4 capítulos, sendo estes: Introdução, a qual é dividida em: Justificativa, Definição de Problema, Objetivo Geral e Objetivos Específicos, Delimitações e Metodologias.

O segundo capítulo, a Revisão Bibliográfica, a qual aborda algumas revisões de conceitos necessários para o entendimento do trabalho que se segue.

No terceiro capítulo foram tratadas as experiências e inspeções realizadas com a finalidade de detalhar a facilidade em se detectar pontos de aquecimento com a câmera térmica em circuitos elétricos.

O quarto capítulo compreende a Conclusão, mostrando os resultados obtidos, como sendo de valia para área da segurança com acidentes elétricos, abrindo caminho para o desenvolvimento de novos trabalhos sobre o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TEMPERATURA

Conforme cita (Çengel & Boles, 2011) apresentar uma definição exata para o conceito de temperatura é uma tarefa mais complicada do que pode parecer. Embora seja um termo com o qual as pessoas estejam familiarizadas, não é possível obter valores precisos para medição com base apenas nas sensações fisiológicas do corpo humano, uma vez que um indivíduo pode ser enganado por seus sentidos. Segundo (Halliday & Resnick, 2016), entretanto, assim como o mercúrio usado em termômetros, vários materiais têm suas propriedades, tais como volume ou condutividade elétrica, alteradas de maneira previsível conforme a variação da temperatura. Isso torna possível medir a temperatura com precisão.

Já (Chrzanowski, 2001) prefere definir a temperatura como uma propriedade capaz de definir o estado termodinâmico de dois objetos em equilíbrio térmico, ou seja, quando não há troca de energia térmica entre ambos. Para resumir, a temperatura pode ser compreendida como um parâmetro numa situação de equilíbrio térmico.

2.1.1 Medidas de Temperatura

Segundo (Halliday & Resnick, 2016) a temperatura está entre as grandezas fundamentais do SI e apesar de não possuir um limite superior, essa grandeza apresenta um limite inferior conhecido como zero absoluto que nada mais é do que o zero na escala Kelvin (K), utilizada principalmente por cientistas. Tal escala é usada para calibração de termômetros, tendo como base, além do zero absoluto, o ponto triplo da água, momento no qual essa substância pode coexistir em equilíbrio térmico nos três estados da matéria devido a um valor específico de pressão e temperatura combinadas. Tal ponto ocorre na temperatura de 273,16 K e este valor foi escolhido por convenção.

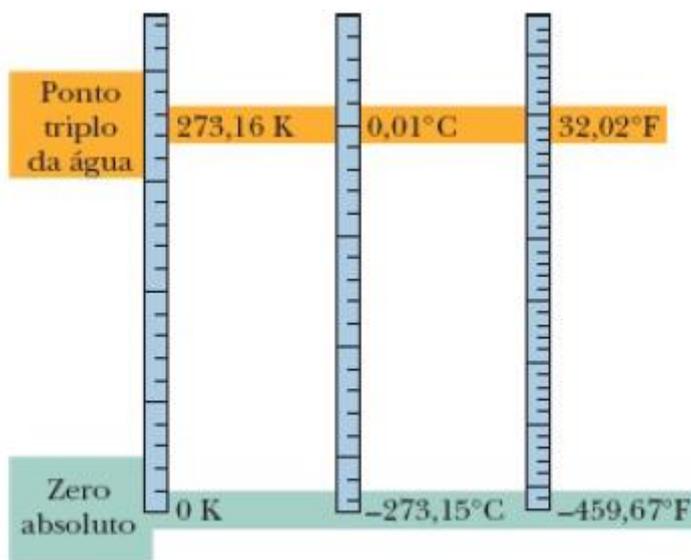
Outra escala usada para medir a temperatura é a Celsius (°C) que é medida em graus e possui o mesmo valor numérico da escala Kelvin, no entanto o seu zero é o ponto de congelamento da água, podendo assim também assumir valores negativos ao contrário da escala Kelvin. Na escala Celsius o ponto de ebulição da água é representado por 100 °C.

Ainda há a escala Fahrenheit (°F) conforme aponta (Halliday & Resnick, 2016) no mesmo texto. Embora também seja medida em graus, a escala Fahrenheit possui um grau que

difere em valor da escala Celsius, sendo o 0 °C equivalente a 32 °F e os 100 °C iguais a 212 °F. Tal escala é mais comumente usada nos Estados Unidos.

Vale ainda ressaltar que como na escala Kelvin o zero equivale ao zero absoluto, ela é considerada uma escala de temperatura absoluta, também chamada de temperatura termodinâmica. A outra escala de temperatura absoluta é a escala Rankine (R) que possui o mesmo valor numérico da escala Fahrenheit. A Figura 1, a seguir, faz a comparação entre as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit.

Figura 1 - Comparação entre as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit.



Fonte: Halliday & Resnick – Fundamentos de Física Vol.2 (2016, p. 421).

2.2 FENÔMENOS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA POR CALOR

Segundo (Çengel & Ghajar, 2011), existem dois mecanismos distintos para que se transfira energia de ou para uma massa; trabalho ou transferência de calor, sendo esta segunda forma a mais interessante para a temática deste trabalho e, portanto, deve ser descrita com mais detalhe. Quando a força motriz de um sistema é a diferença de temperatura entre seus componentes, a transferência de energia ocorre por transferência de calor, todavia, se a diferença de temperatura não atua como força motriz, então a transferência de energia é considerada apenas trabalho.

A relação entre energia, trabalho e calor pode expressada matematicamente através da primeira lei da termodinâmica representada pela seguinte equação:

$$dE_{int} = dQ - dW \quad (1)$$

Portanto, a energia interna (E_{int}) do sistema pode ser aumentada ao se acrescentar energia em forma de calor (Q) e diminuída ao se remover energia em forma de trabalho (W). Em outras palavras, a diferença entre a energia que o sistema recebe em forma de calor e a energia que ele dispensa em forma de trabalho é o que define a variação líquida da energia total desse sistema.

De acordo com (Çengel & Ghajar, 2011) existem três modos diferentes pelos quais o calor é transferido de um corpo a outro: Condução, Convecção e Radiação. Todos esses três modos necessitam de uma diferença de temperatura entre os corpos para que possam vir a ocorrer e, em todos os três, a transferência de calor ocorre sempre do corpo de maior para o de menor temperatura, cessando quando ambos encontrarem o equilíbrio térmico, ou seja, apresentarem ambos a mesma temperatura.

2.2.1 Condução

A transferência de energia por condução ocorre pela interação direta entre as partículas de duas substâncias adjacentes. Uma vez que os elétrons de uma substância aquecida vibram com maior intensidade devido à temperatura a qual estão expostos, eles acabam por transferir sua energia através de colisões, difusões ou vibrações para os átomos de uma substância mais fria com a qual estejam em contato, fazendo com que essa segunda substância se aqueça também. (Halliday & Resnick, 2016).

O exemplo mais comum de transferência de calor por condução é uma panela sendo aquecida sobre a chapa de um fogão. A condução também ocorre quando uma pessoa tem uma sensação gelada ao tocar uma peça de metal num dia frio; nesse caso a energia passa do corpo da pessoa para o objeto de metal devido ao fato do corpo humano possuir uma temperatura maior que tal peça. (Halliday & Resnick, 2016).

2.2.2 Convecção

Convecção é como se chama a transferência de calor de um sólido para um fluido (líquido ou gás), fazendo com que a porção do fluido em contato com o corpo quente se expanda, ficando menos denso e, conseqüentemente, mais leve que o resto do fluido que o cerca. Essa diferença de peso faz com que o fluido mais leve suba e o mais pesado desça para

ocupar seu lugar num movimento que pode se repetir indefinidamente. (Halliday & Resnick, 2016).

A convecção atmosférica, responsável pelas condições meteorológicas adversas em todo mundo, é o exemplo mais obvio desse processo, mas ele também se faz presente nos oceanos e até mesmo na energia térmica gerada pela fusão nuclear no interior do sol. (Halliday & Resnick, 2016).

2.2.3 Radiação

De acordo com (Çengel & Ghajar, 2011), a radiação é a energia emitida pela matéria em forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas são chamadas radiação térmica para evitar que sejam confundidas com os sinais eletromagnéticos usados na telecomunicação ou com a radiação nuclear. Diferente dos processos de condução e convecção, a transferência de calor por radiação não necessita de um meio material para se propagar, podendo ocorrer até mesmo através do vácuo, além de ser também o modo mais rápido dos três, uma vez que, no vácuo, as ondas eletromagnéticas viajam na velocidade da luz.

É através da radiação que a energia do sol chega à Terra, por exemplo, e através da mesma uma fogueira pode esquentar uma pessoa ao mesmo tempo em que assa um pedaço de carne.

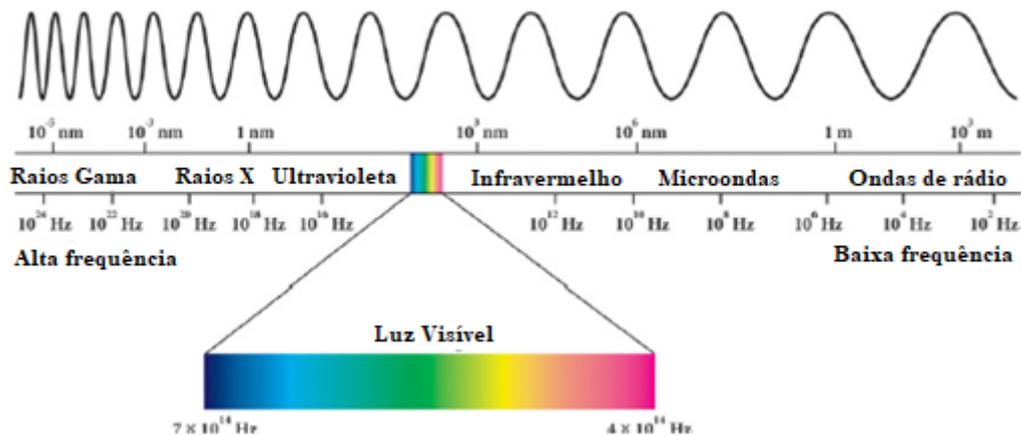
2.2.3.1 Radiação Infravermelha

De acordo com (Dramicanin, 2018) o espectro eletromagnético é tradicionalmente dividido em sete regiões conforme a frequência e comprimento de onda das ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama. Sendo que a radiação térmica pode ser emitida nas faixas de radiação infravermelha, luz visível e ultravioleta; as chamadas radiações óticas. No entanto, conforme aponta (Chrzanowski, 2001) devido a temperaturas encontradas no planeta Terra praticamente toda a radiação térmica emitida está dentro da faixa do infravermelho, sendo consequentemente também conhecida como radiação infravermelha.

Segundo (Çengel & Ghajar, 2011) a luz visível, que varia do violeta ao vermelho, é a única porção do espectro eletromagnético que pode ser captada pela visão humana, conforme demonstra a Figura 2. Portanto, a radiação infravermelha não é visível a olho nu,

mas pode ser mensurada e até visualizada através de aparelhos especificamente desenvolvidos para esse fim, como pirômetros, escâneres e câmeras térmicas.

Figura 2 - Espectro Eletromagnético.



Fonte: Adaptado de Dramicanin – Luminescence Thermometry (2018, p. 34).

2.2.3.1 Lei de Planck

Como aponta (Chrzanowski, 2001) qualquer objeto que se encontre numa temperatura superior ao zero absoluto emite radiação térmica decorrente do movimento de seus átomos. Quanto mais quente o objeto, mais radiação é emitida. Portanto, a lei de Planck descreve a distribuição espectral da radiação térmica emitida por um irradiador ideal – um corpo negro. Tal lei é expressa pela fórmula:

$$M_{\lambda}(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (2)$$

Na qual M_{λ} é a radiância espectral, T é a temperatura absoluta do corpo negro, λ é o comprimento de onda, h é a constante de Planck ($6,626176 \times 10^{-34}$ J · s), c é a velocidade da luz no vácuo e k é a constante de Boltzmann ($1,380662 \times 10^{-23}$ J · K⁻¹).

2.2.3.2 Lei de Stefan-Boltzman

Conforme (Çengel & Ghajar, 2011) a lei de Stefan-Boltzman é uma equação através da qual é possível obter a taxa máxima de radiação que uma superfície pode emitir numa temperatura absoluta T . Tal lei pode ser representada matematicamente pela equação 3:

$$\varepsilon_{cn} = \sigma T^4 \quad (3)$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzman que equivale a $5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$; e ε_{cn} é a emissividade de um corpo negro.

2.2.3.3 Lei do Deslocamento de Wien

Segundo (Chrzanowski, 2001) a lei do deslocamento de Wien relaciona temperatura (T) de um corpo negro ao comprimento de onda para a máxima emissão de radiação eletromagnética (λ). Dada pela fórmula:

$$\lambda_{max} = \frac{A}{T} \quad (4)$$

Onde “A” é a constante de dispersão de Wien, que equivale à $2,8977685 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Através da equação, nota-se que quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda máxima, portanto, temperaturas diferentes resultam em emissões infravermelhas de diferentes comprimentos de onda.

A lei do deslocamento de Wien, a lei de Stefan-Boltzman e a lei de Planck, são a base da física por trás de todos os sensores infravermelhos.

2.2.3.4 Emissividade

Por fim, (Çengel & Ghajar, 2011) define a emissividade de uma superfície representa a razão entre a radiação emitida pela superfície em uma determinada temperatura e a radiação emitida por um corpo negro com temperatura igual. A emissividade da superfície é denotada por ε , e varia entre 0 e 1, $0 \leq \varepsilon \leq 1$. A emissividade é a medida de quanto a superfície se aproxima de um corpo negro, para o qual $\varepsilon = 1$.

2.3 EFEITO JOULE

Segundo (Cohn & Russell, 2012), o aquecimento por joule, também conhecido como aquecimento ôhmico e aquecimento resistivo, é o processo pelo qual a passagem de uma corrente elétrica através de um condutor libera calor. O processo foi estudado por Joule, que imergiu um comprimento de fio em uma massa fixa de água e mediu o aumento de temperatura devido a uma corrente elétrica conhecida que fluía através do fio por um período de 30 minutos. Ao variar a corrente e o comprimento do fio, ele deduziu que o calor (Q) produzido era proporcional ao quadrado da corrente (i) multiplicado pela resistência elétrica (R) do fio.

$$Q = i^2 R t \quad (5)$$

Com a equação (5) é possível calcular a quantidade de calor dissipada por um condutor que é atravessado por uma corrente elétrica.

Importante ressaltar que quanto menor for a bitola do fio condutor, menor é também sua capacidade de condução de corrente em decorrência do efeito térmico que ela provoca no condutor. Com base na temperatura máxima em que é possível realizar uma operação segura e contínua é que a capacidade de condução de cada tipo de condutor é definida (Creder, 2016).

2.4 TERMOGRAFIA

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que utiliza a radiação infravermelha emitida pelos corpos uma vez que tal radiação aumenta proporcionalmente conforme a temperatura. Regiões com temperaturas elevadas em equipamentos eletromecânicos podem ser detectadas com esta técnica de inspeção e dependendo do seu valor uma falha pode ser rapidamente apontada. Devido a essas características, a termografia tem sido cada vez mais usada para manutenção preventiva e preditiva em diversos segmentos, tais como: indústrias metalúrgicas, químicas, siderúrgicas entre outras (PELIZZARI et al., 2006).

2.4.1 Câmeras Termográficas

De acordo com (Chilton, 2014) uma câmera termográfica é um tipo de sensor infravermelho capaz de detectar radiação infravermelha, emitida por qualquer objeto com temperatura superior ao zero absoluto (0 Kelvin) e transformá-la em uma imagem no espectro de luz visível.

As câmeras térmicas podem ser utilizadas para diversos propósitos, tais como: pesquisas científicas, aplicações militares, inspeções e manutenções de sistemas elétricos, mecânicos, edificações; eletrônicos e automação.

No Brasil, as câmeras térmicas encontradas no mercado têm seu preço variando bastante; desde modelos mais simples custando entre R\$ 1.000,00 e R\$ 2.500,00 até modelos altamente sofisticados com preços superando os R\$ 50.000,00. As câmeras de baixo custo são mais indicadas para empresas pequenas e trabalhadores autônomos, por conta também da praticidade do dia a dia, já que alguns modelos, como o utilizado neste trabalho, são facilmente acoplados ao celular, sendo rápido a visualização de suas capturas e compartilhamento de imagens com outras plataformas. Para grandes empresas que possuem um maior capital é indicado a utilização das câmeras com valor mais elevado, já que além de apresentarem uma maior qualidade em todos os aspectos, também possuem maior número de funcionalidades.

2.5 CONDUTORES ELÉTRICOS

A energia elétrica que move o mundo moderno necessita de um meio pelo qual possa se deslocar de maneira relativamente livre, esse é o papel dos fios e cabos condutores. Regulamentados pela NBR 5410, os condutores elétricos podem ser de cobre ou alumínio (sendo o primeiro amplamente mais utilizado) com isolamento de cloreto de polivinil (PVC), borracha etileno propileno (EPR) ou polietileno reticulado (XLPE).

Para que um condutor seja dimensionado de maneira correta é preciso obedecer a alguns critérios, sendo eles:

- Tensão nominal;
- Frequência nominal;
- Corrente da carga;
- Fator de potência da carga;

- Método de instalação dos condutores;
- Corrente de curto-circuito.
- Tipo de sistema: monofásico, bifásico ou trifásico;
- Método de instalação dos condutores;
- Natureza de carga: iluminação, motores, capacitores, retificadores etc.;
- Distância da carga ao ponto de suprimento;

Embora também existam outros fatores envolvidos, conforme é possível notar na Tabela 2, quanto maior for a seção nominal de um condutor elétrico, maior é sua capacidade de condução de corrente, ou seja, a corrente máxima que ele pode suportar sem ultrapassar a temperatura máxima de regime permanente estabelecida pela norma técnica NBR NM-247-3. Assim sendo, quando um condutor está ligado a uma carga com corrente maior do que a que ele pode suportar, ou seja, quando sua capacidade de corrente é ultrapassada, ocorre um superaquecimento desse condutor devido ao efeito joule que pode acarretar um curto-circuito e possivelmente num incêndio.

Além da seção nominal dos condutores e do número de condutores carregados, a Tabela 2 também estipula diferentes capacidades de condução de corrente para cada referência de método de instalação, sendo esses métodos A1 (Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante), A2 (Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante), B1 (Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular), B2 (Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular), C (Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede) e D (Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto enterrado).

Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente, em amperes, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D.

Condutores: cobre e alumínio
Isolação: PVC
Temperatura no condutor: 70°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	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5410 (2004, p. 101).

2.6 SOBRECORRENTE

Uma corrente elétrica que flui através de um determinado equipamento, ao apresentar uma magnitude acima da qual o equipamento foi projetado para operar, é definida como sobrecorrente, podendo danificar seriamente os componentes desse equipamento devido aos seus efeitos térmicos e mecânicos. Sem dispositivos de proteção adequados, sobrecorrentes podem causar danos a isoladores, conectores e qualquer outro dispositivo que esteja em contato com os condutores. As consequências de tal anomalia são denominadas: sobrecargas e curtos-circuitos (Creder, 2016).

Conforme (Mamede Filho, 2017) uma sobrecarga ocorre quando uma corrente elétrica excede moderadamente a capacidade dos condutores que ela atravessa. Essa corrente excessiva gera um superaquecimento dos condutores, isoladores, conectores entre outros componentes que possam estar em contato com eles. Tal anomalia pode ter sua origem no

subdimensionamento de condutores ou em conexões realizadas de forma indevida ou que se deterioraram com o tempo. Caso os equipamentos de proteção contra sobrecorrente não estiverem devidamente dimensionados e instalados, não funcionarem corretamente ou estiverem simplesmente ausentes no sistema, a sobrecarga pode aquecer os condutores até o ponto de derreterem e ocasionarem um curto-circuito ou até mesmo um incêndio. Na Figura 3, pode-se observar um exemplo do que uma conexão mal feita pode causar.

Figura 3 - Disjuntor danificado devido a uma conexão mal feita.



Fonte: Autoria Própria.

2.6.1 Curto – Circuito

O curto-circuito pode ser definido, segundo (Araújo, 2013), como uma conexão acidental ou intencional, por uma resistência ou impedância relativamente baixa, de dois ou mais pontos de um circuito que normalmente possuem tensões diferentes.

Para poder ajustar corretamente os sistemas de proteção e coordenação nas instalações elétricas, é necessário determinar as correntes de curto-circuito.

Determinam-se os valores de tais correntes, obtendo-se o conhecimento das impedâncias, desde o ponto de defeito até a fonte geradora.

Podem ser afetados pela corrente de curto-circuito os componentes da instalação elétrica, tais como os cabos, chaves, barramentos, e até mesmo a estrutura dos quadros de distribuição, caso estes não tenham sido dimensionados adequadamente para tais esforços eletromecânicos resultantes (Mamede Filho, 2017).

2.6.2 Alguns Dispositivos de Proteção

2.6.2.1 Fusíveis

Conforme (Creder, 2016), esse dispositivo funciona com base num elo fusível; uma lâmina metálica com baixo ponto de fusão que se funde graças ao efeito Joule quando o valor da corrente supera os níveis suportáveis para uma operação segura devido a uma sobrecarga ou um curto-circuito, garantindo assim que os elementos do circuito em que o fusível está inserido não sofram danos.

Segue um exemplo de fusível, na Figura 4:

Figura 4 – Fusível NH Ultra Rápido aR 500A Negrini NH 2-500 / 500



Fonte: Viewtech automação industrial – Proteção de Circuitos (Online, 2020).

2.6.2.2 Dispositivo de Proteção Diferencial-Residual

Conhecido simplesmente como DR, esse dispositivo atua ao detectar uma corrente de curto-circuito superior ao seu valor nominal, desligando o circuito para proteger seus componentes; evitando assim consumos excessivos de energia, choques diretos e indiretos e possíveis incêndios (Creder, 2016).

2.6.2.3 Relé de Sobrecarga

Dispositivo térmico que, quando atravessado por uma corrente elétrica, tem suas lâminas internas deformadas devido ao aumento de temperatura. Tais lâminas, ao se deformarem, acabam por operar o contato móvel do relé que por sua vez desativa todo o circuito. Acoplados a contadores, esses relés são usados principalmente na proteção de motores (Mamede Filho, 2017).

2.6.2.4 Disjuntor

Conforme (Mamede Filho, 2017), disjuntores “são dispositivos destinados a proteção de circuitos elétricos, os quais devem atuar quando percorridos por uma corrente de valor superior ao estabelecido para funcionamento normal”. Resumidamente, a função primária do disjuntor deve ser desligar automaticamente um circuito ao detectar uma sobrecorrente. No entanto, de acordo com o modo como são construídos, disjuntores podem desempenhar diversas funções, sendo as mais comuns: proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, proteção contra quedas de tensão e seccionamentos de emergência, uma vez que o dispositivo pode também ser desligado manualmente.

2.6.2.5 Disjuntor-Motor

Normalmente utilizado nos circuitos terminais de motores em conjunto com contatores de potência, esses dispositivos, além de protegerem os motores contra sobrecargas e curtos-circuitos, são projetados para realizar manobras nos mesmos. Diferente de um disjuntor convencional que desempenha apenas um papel de proteção, o disjuntor-motor permite também a partida e o comando do motor (Mamede Filho, 2017).

2.6.3 Limite Térmico dos Condutores

Conforme a NBR NM-247-3 (Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750V) a temperatura máxima de operação normal dos condutores com isolamento de PVC é de 70 °C, sendo essa, conhecida como temperatura máxima de regime permanente. Em regime de sobrecarga a temperatura máxima a qual o condutor deve estar submetido é de 100 °C, sendo que o condutor não pode permanecer nesse regime mais do que 100 horas em 12 meses consecutivos ou 500 horas durante vida do cabo. Em regime de curto-circuito a temperatura máxima do condutor não pode exceder 160 °C, nem sua duração deve ser maior que 5 segundos.

A Tabela 3 apresenta as temperaturas máximas, pré-estabelecida nas normativas, que cada tipo de condutor isolado pode suportar.

Tabela 3 - Temperaturas características dos condutores

Tipo de isolamento	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C	Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm ²	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm ²	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5410 (2004, p. 100).

2.7 CHOQUES ELÉTRICOS

(Cotrim, 2009) explica que o choque elétrico é a perturbação, de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano ou animal quando este é percorrido por uma corrente elétrica. Dependendo da intensidade e do tempo do choque elétrico, a corrente provoca maiores danos e efeitos fisiopatológicos no homem.

No estudo da prevenção do choque elétrico, devem-se considerar (Cotrim, 2009):

Contatos diretos: é quando a pessoa toca diretamente a parte viva (condutores energizados) de uma instalação elétrica. Isto pode ocorrer quando a pessoa toca inadvertidamente os condutores energizados ou outra parte do circuito de um equipamento, ou devido a uma fissura (falha) do material isolante;

Contatos indiretos: contatos de pessoas ou animais com massas que ficaram sob tensão devido a uma falha de isolamento.

2.8 CONDUTOR DESBITOLADO

Segundo aponta a matéria do site *Moneytimes*, o preço do cobre atingiu recentemente o maior nível desde 2018. Essa alta se deve, entre outros fatores, à crise causada pela pandemia de Covid-19, ao otimismo do mercado chinês e mundial e às constantes ameaças de greve de mineiros no principal produtor mundial de cobre, o Chile, que ameaçam a oferta do material. O Gráfico 3 demonstra o aumento sofrido pelo preço do cobre na bolsa de metais de Londres nesse ano.

Gráfico 3 - Preço do cobre ao longo do segundo trimestre de 2020.



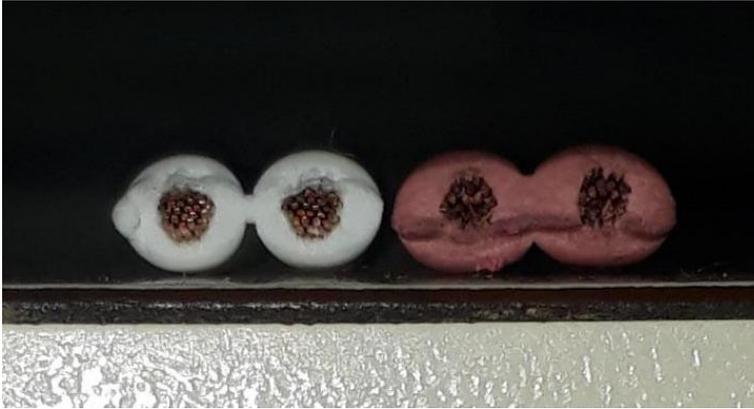
Fonte: Adaptado de Investing News – Copper Price Update: Q2 2020 in Review (Online, 2020).

Essa alta nos preços consequentemente reflete em todos os produtos que possuem o cobre como matéria prima, como é o caso dos fios e cabos elétricos. A elevação nos preços de venda dos produtos, por sua vez, acaba por favorecer a circulação de itens irregulares, uma vez que esses apresentam, a princípio, um preço mais razoável e atrativo aos que não se importam com a questão da qualidade.

Um exemplo de produtos irregulares facilmente encontrados no mercado são os cabos desbitolados, ou seja, com quantidade de cobre inferior a requerida por lei. Apesar de mais baratos, esses cabos não atendem às normas técnicas e podem colocar em risco a instalação a até a vida humana, uma vez que, ao serem confeccionados com uma quantidade de cobre inferior à exigida, possuem menor capacidade de condução de corrente e consequentemente maior facilidade em apresentar sobreaquecimento conforme (Mamede Filho, 2017) podendo provocar curtos-circuitos e incêndios, como já referido anteriormente.

A Figura 5 mostra a comparação entre a secção transversal de cabos paralelos de $2 \times 1,0 \text{ mm}^2$; nota-se que apesar de ambos possuírem o mesmo diâmetro externo, o cabo branco apresenta visivelmente maior quantidade de condutores de cobre em seu interior, sendo o cabo marrom um exemplo claro de cabo desbitolado.

Figura 5 - Comparação entre cabos paralelos.



Fonte: Autoria Própria.

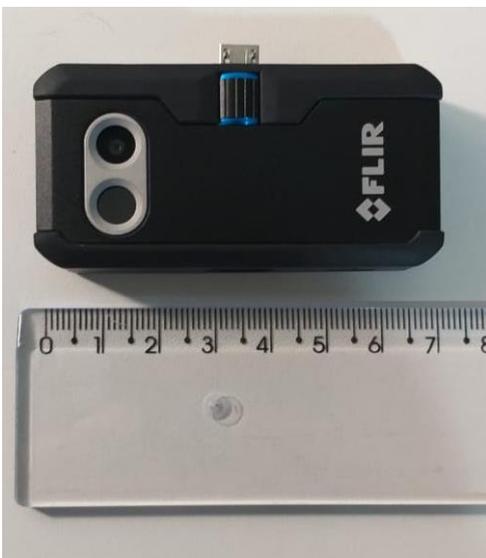
3 EXPERIÊNCIAS E AFERIÇÕES REALIZADAS

O presente capítulo apresenta experiências e inspeções realizadas através da utilização de uma câmera termográfica com o intuito de se averiguar as diferenças térmicas entre materiais e instalações de diferentes qualidades e facilitar a localização de pontos de sobreaquecimento na manutenção elétrica.

3.1 CÂMERA TÉRMICA FLIR ONE PRO

A câmera utilizada para os testes (Figura 6) possui uma tecnologia que permite obter detalhes adicionais ao da imagem térmica, tal tecnologia é chamada de MSX (*Multi-Spectral Dynamic Imaging*). Este recurso conta com a utilização de duas câmeras, uma que gera imagens térmicas e uma câmera digital típica, quando uma foto é tirada, são capturadas imagens de ambas as câmeras. Em conjunto, um *software* integrado extrai os principais detalhes, como palavras, números, linhas, bordas, adicionando-os à imagem térmica, para facilitar os pontos que estão sendo medidos/ visualizados.

Figura 6 - Câmera térmica FLIR ONE Pro.



Fonte: Autoria Própria.

Além da citada acima, algumas especificações que a câmera utilizada possui são: resolução térmica de 19200 pixels, tem a capacidade de operar na faixa de temperatura de -20 a 400 °C, sua resolução de imagem de saída é de 1440x1080, sua resistência a choques mecânicos é a uma queda de até 1,8m. Quanto à escala de temperatura, têm-se a possibilidade

de optar por graus Celsius ou graus Fahrenheit. Outras informações de suas especificações podem ser adquiridas em seu *datasheet* que está em anexo.

Nos testes realizados optou-se pela utilização da escala Celsius por conta da sua usualidade ser a de padrão nacional, e por ser a unidade utilizada para especificar as delimitações dos produtos analisados.

A seguir são mostradas algumas imagens capturadas pela câmera termográfica, em seu aplicativo de edição *FLIR Tools*, utilizado no celular:

Figura 7 - Imagem MSX.

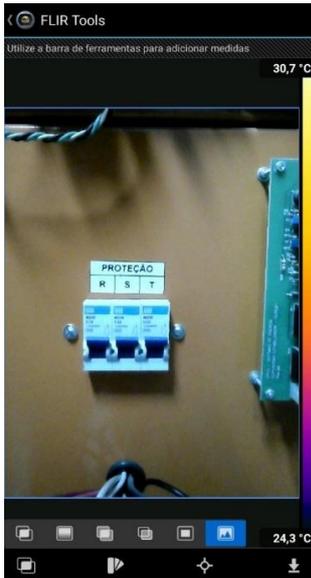


Fonte: Autoria Própria.

A Figura 7 mostra uma imagem com tecnologia MSX, utilizando as capturas térmicas e digitais da câmera, em sua borda inferior localizam-se configurações, tais como seleção do tipo de imagem (no caso, selecionada a MSX), paleta de cores, pontos de medição de temperatura

Já a Figura 8 mostra a imagem digital capturada pela câmera:

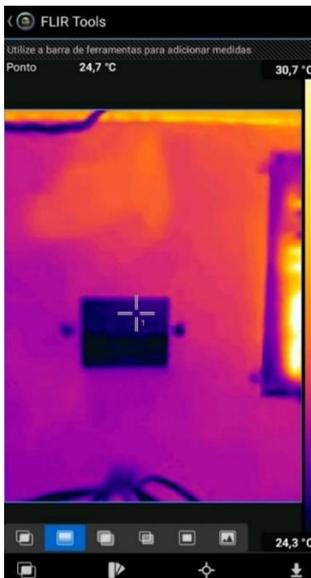
Figura 8 - Imagem Digital.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 9, é mostrada a imagem apenas térmica capturada pela câmera termográfica de infravermelho. Pode-se perceber que caso a câmera obtivesse apenas a sua captura, seria de maior dificuldade especificar os objetos medidos:

Figura 9 - Imagem Térmica.



Fonte: Autoria Própria.

3.2 EXPERIÊNCIA 01

A fim de se averiguar os riscos de instalações elétricas inadequadas através do uso de uma câmera térmica, foram instalados dois chuveiros idênticos, sendo um ligado de forma adequada e com materiais apropriados (Aparelho 1), enquanto o outro foi deliberadamente instalado de maneira incorreta e usando materiais de qualidade inferior (Aparelho 2), conforme é possível visualizar na Figura 10.

Figura 10 - Aparelho 1 (Direita) e Aparelho 2 (Esquerda).



Fonte: Autoria Própria.

Cálculo de corrente dos chuveiros:

$$P = V * A \quad (6)$$

$$7700 = 220 * A$$

$$A = 35A$$

Onde P é a potência em watts, V é a tensão em volts e A é a corrente em amperes.

O aparelho 1 foi ligado à rede com o uso de cabos flexíveis de cobre com área de secção igual à 6 mm² seguindo a Tabela 36 da NBR5410 (Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D.) em tubulação de PVC de diâmetro igual à 3/4" conforme NBR5410 (Eletrodutos rígidos de PVC do tipo rosqueado). Tais cabos foram ligados aos cabos do chuveiro com conectores de emenda apropriados com capacidade para suportar até 41 A e temperatura máxima de operação de 105

°C conforme os dados apresentados pelo fabricante, estando de acordo com as normas técnicas NBR5410, NR10 e NR12.

A Tabela 4 mostra que o método de instalação utilizado foi o “B1” de acordo com a NBR5410, sendo essa identificação necessária para saber qual a bitola de condutor pode suportar a corrente nominal do aparelho nesse método de instalação.

Tabela 4 - Método de Instalação.

MÉTODO DE INSTALAÇÃO
(Tabela 33 da NBR5410/2004)

Método de instalação número:	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de instalação a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²	A1
2		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 ³	B1

Fonte: NBR5410/2004, Tabela 33 – Método de Instalação.

Tabela 5 - Capacidades de Condutores de Condução de Corrente.

CAPACIDADES DE CONDUÇÃO DE CORRENTE, EM AMPÈRES, PARA OS MÉTODOS DE REFERÊNCIA A1, A2, B1, B2, C e D. (Tabela 36 da NBR5410/2004).

- Condutores e cabos unipolares e multipolares, isolamento de PVC;
- 2 e 3 condutores carregados;
- temperatura de 70°C no condutor;
- temperatura ambiente: 30°C para linhas não subterrâneas e 20°C (solo) para linhas subterrâneas.

Seções nominais (mm ²)	Métodos de instalação definidos na tabela 28											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52

Fonte: NBR 5410/2004, Tabela 36 – Capacidades de Condução de Corrente.

Com a Tabela 5, pode-se observar na tabela que a seção nominal de condutor necessária é a de 6,0 mm².

Tabela 6 - Área ocupada pelos cabos.

Seção (mm ²)	Área total - mm ²			Seção (mm ²)	Área total - mm ²		
	PVC		XLPE ou EPR		PVC		XLPE ou EPR
	Isolado	Unipolar			Isolado	Unipolar	
1,5	7,0	23,7	23,7	70	130,7	188,7	188,7
2,5	10,7	28,2	28,2	95	179,7	246,0	246,0
4	14,5	36,3	36,3	120	213,8	289,5	289,5
6	18,8	41,8	41,8	150	268,8	359,6	359,6
10	27,3	50,2	50,2	185	336,5	444,8	444,8

Fonte: Livro Instalações Elétricas Industriais, p. 244 (Online, 2020).

Para calcular a área ocupada pelos condutores na tubulação foi utilizada a Tabela 6, sendo os cabos de fase e neutro de espessura 6,0 mm² e o cabo de aterramento de 2,5 mm², totalizando numa área ocupada de 48,3 mm².

Tabela 7 - Dimensionamento Eletrodutos Rígidos de PVC Rosqueados.

Tamanho	Rosca	Dimensões do eletroduto				Área ocupável pelos cabos				
		Diâmetro externo	Espessura da parede		Área útil		2 cabos: 31 %		> 3 cabos: 40 %	
			Classe A	Classe B	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
	pol	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
16	1/2	21,1 ± 0,3	2,50	1,80	196	232	60	71	79	93
20	3/4	26,2 ± 0,3	2,60	2,30	336	356	104	110	135	143
25	1	33,3 ± 0,3	3,30	3,00	554	582	170	183	224	238

Fonte: Livro Instalações Elétricas Industriais, p. 238 (Online, 2020).

De acordo com a Tabela 7, o diâmetro mínimo da tubulação necessário é o de 1/2", contudo, foi utilizado o eletroduto de 3/4" para facilitar a instalação.

O aparelho 2 foi ligado à rede com o uso de cabos flexíveis de cobre com bitola igual à 6,0 mm² que, apesar de estarem licenciados pelo Inmetro, possuem uma quantidade de cobre inferior à dos cabos usados no aparelho 1. Uma comparação entre os dois pode ser vista na Figura 11, sendo o da direita o utilizado no aparelho 1.

Figura 11 - Comparação entre a secção transversal dos cabos utilizados no experimento.



Fonte: Autoria Própria.

Os condutores do aparelho 2 também foram instalados em tubulação de PVC de diâmetro igual a 3/4", porém foram ligados ao chuveiro através de um plugue e uma tomada, ambos com capacidade de corrente de 10 A. Tal ligação inadequada tem por objetivo simular erros comuns cometidos por pessoas que realizam a instalação de um chuveiro sem possuírem um conhecimento técnico mínimo o que pode resultar em avarias sérias aos aparelhos e à rede elétrica.

Figura 12 - Tipo de disjuntor utilizado no experimento



Fonte: Autoria Própria.

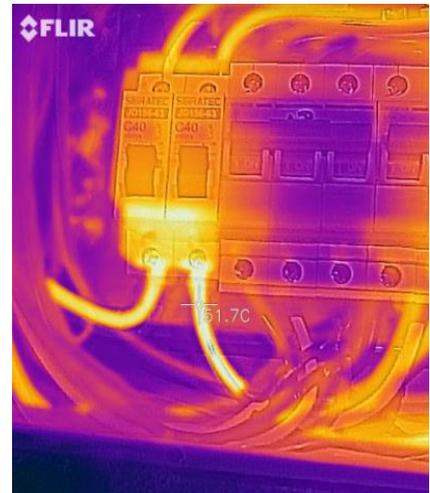
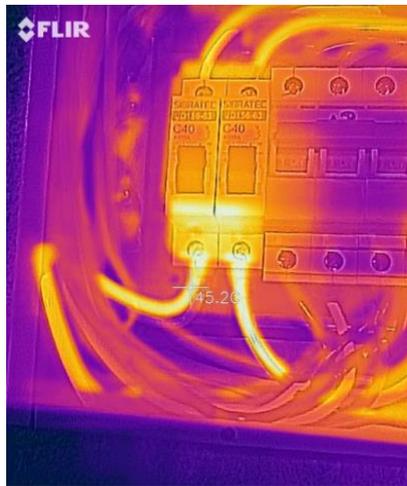
Ambos os aparelhos foram protegidos por disjuntores curva C de 40 A (Figura 12). Em intervalos de tempo, conforme demonstra a Tabela 8, foram realizadas aferições com uma câmera térmica que revelaram diferenças de temperatura nas ligações dos aparelhos. A Tabela 8 a seguir mostra uma comparação entre os aparelhos ao longo do tempo.

Tabela 8 - Experiência 01.

Horário	Aparelho 1	Aparelho 2
11:12h		
	34,9 °C	32 °C
	<p>Quinze minutos após o início do teste a primeira aferição com o uso da câmera térmica revelou que a conexão apropriada do aparelho 1 apresentava uma temperatura superior à conexão errônea do aparelho 2 em cerca de 3 °C. Isso se deve ao fato de os conectores de emenda utilizados serem bem menores que o conjunto plugue e</p>	

tomada, o que conseqüentemente resulta numa menor capacidade de dissipar o calor. Portanto, já era esperado que a conexão do aparelho 1 atingisse temperaturas maiores primeiro.

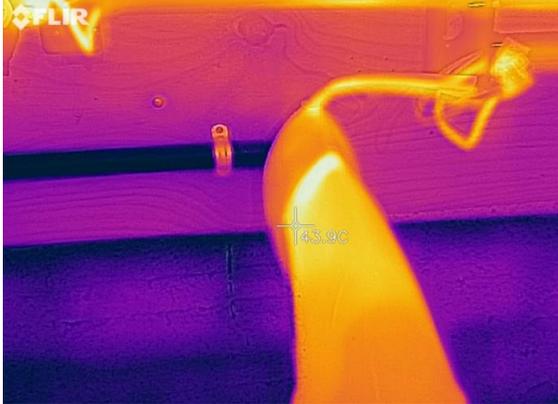
11:29h

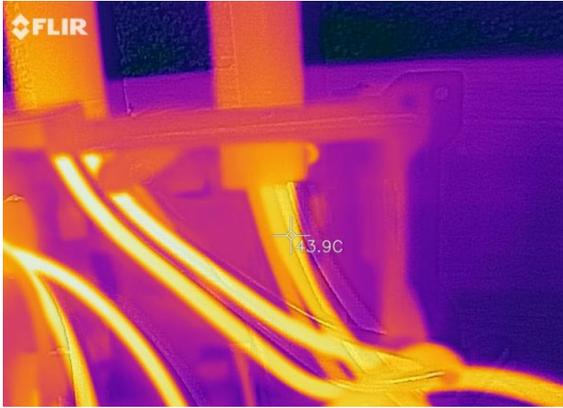
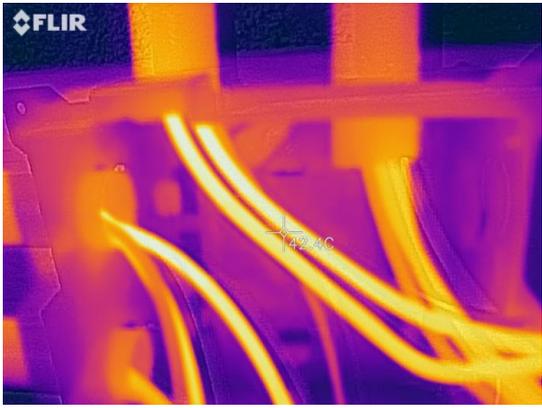


Conexão: 36,1 °C
Disjuntor: 45,2 °C

Conexão: 50,7 °C
Disjuntor: 51,7 °C

Meia hora após o início do teste a temperatura na conexão do aparelho 1 apresentou um aumento de apenas 1,2 °C, enquanto no aparelho 2 houve um salto de quase 20 °C nesse período, resultando numa significativa diferença de 14,6 °C entre os aparelhos. No quadro geral, o disjuntor ligado ao aparelho 2 também apresentou uma temperatura superior ao disjuntor do aparelho 1; a diferença nesse caso foi de 6,5 °C.

<p>11:48h</p>	 <p>39,6 °C</p>	 <p>51,4 °C</p>
<p>Quase uma hora após o início do teste as conexões em ambos os aparelhos apresentaram aumentos de temperatura pouco significativos, sendo que a diferença entre ambas caiu para 11,8 °C. Nesse ponto foi decidido que o tempo de amostragem do experimento deveria ser maior a fim de se obter resultados mais expressivos em relação a diferença de temperatura entre os aparelhos.</p>		
<p>13:20h</p>	  <p>Conexão: 42 °C Aparelho: 43,9 °C</p>	  <p>Conexão: 74,1 °C Aparelho: 27,1 °C</p>

	<p>Mais de duas horas após o início do teste a temperatura na conexão do aparelho 2 atingiu seu ápice, enquanto a conexão do aparelho 1 novamente apresentou um aumento pouco relevante, resultando assim numa considerável diferença de 32,1 °C.</p> <p>Importante ressaltar que, apesar da temperatura de 74,1 °C ter sido observada na emenda, ela está acima de temperatura máxima recomendada pela norma NBR NM-247-3 que é de 70 °C, sendo, portanto, capaz de ocasionar um rápido deterioramento do produto com o uso prolongado.</p> <p>No momento dessa aferição foi constatado também o mau funcionamento do aparelho 2 que teve seus componentes eletrônicos danificados devido a temperatura excessiva resultante da conexão inapropriada. Enquanto o aparelho 1 continuava funcionando perfeitamente em potência máxima, o aparelho 2, mesmo em potência máxima não conseguia entregar a água em temperatura semelhante à do aparelho 1. A imagem térmica deixa claro a diferença de mais de 10 °C entre os aparelhos.</p>	
<p>13:40h</p>		
	<p>43,9 °C</p>	<p>52,4 °C</p>
<p>Com um dos aparelhos já avariados, foi realizada uma última aferição, tendo como alvo dessa vez os cabos conectados aos aparelhos. Mesmo danificado, os cabos ligados ao aparelho 2 apresentaram uma temperatura significativamente maior. Essa diferença de quase 10 °C se deve em parte também à qualidade dos cabos, visto que, como já referido anteriormente, os cabos ligados ao aparelho 2 possuem uma quantidade menor de cobre em sua construção, logo são mais propensos a sobreaquecerem com maior facilidade.</p>		

Fonte: Autoria Própria.

3.3 INSPEÇÃO 01

No dia 02 outubro de 2020 foi realizada uma inspeção elétrica de rotina, solicitada pelo cliente em uma clínica médica no centro de Tubarão. Com o uso da termografia pôde-se identificar um problema em um dos disjuntores, sendo este trifásico de 50 A, o fio sólido que estava conectado ao disjuntor era de área de secção igual a 10,0 mm². As Figuras 13, 14 e 15 mostram a diferença de temperatura entre as três fases

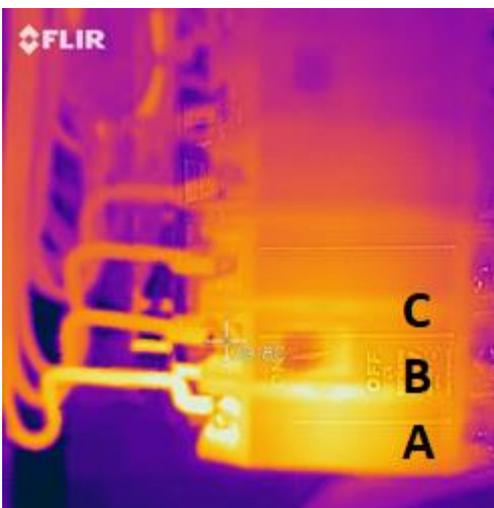
Figura 13 - Inspeção 01 (Temperatura Fase A)



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 13 o ponto de medição está apresentando uma temperatura de 50,1 °C na fase A.

Figura 14 - Inspeção 01 (Temperatura Fase B).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 14 o ponto de medição apresenta uma temperatura de 39,8 °C na fase B.

Figura 15 - Inspeção 01 (Temperatura Fase C).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 15 o ponto de medição apresenta uma temperatura de 36,4 °C na fase C.

Figura 16 - Inspeção 01 (Corrente Fase A – 13,2 A).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 16 está sendo mostrada a medição da corrente na fase A.

Figura 17 - Inspeção 01 (Corrente Fase B – 12,3 A).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 17 está sendo mostrada a medição da corrente na fase B.

Figura 18 - Inspeção 01 (Corrente Fase C – 8,5 A).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 18 está sendo mostrada a medição da corrente na fase C.

A diferença de temperatura entre as fases é visivelmente significativa. Através das imagens térmicas pôde-se observar o fenômeno de condução no disjuntor, com a temperatura da fase A influenciando na das outras duas fases uma vez que suas medições de corrente apresentaram valores muito baixos para justificar uma temperatura tão alta. Sendo a diferença entre as correntes, pouco significativa, não é possível afirmar também que as cargas do disjuntor estejam desbalanceadas a ponto de causar esse sobreaquecimento, sendo este portanto ocasionado provavelmente por uma falha na conexão do próprio disjuntor.

Após sugerida, foi realizada a substituição do disjuntor, podendo-se visualizar assim o equilíbrio de temperatura entre as três fases, sendo sua diferença agora de apenas 1 °C e estarem mais de 20 °C abaixo da temperatura máxima de operação do disjuntor.

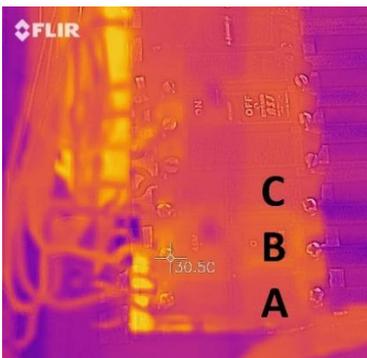
Figura 19 - Inspeção 01 parte 2 (Temperatura Fase A – 29,8 °C).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 19 o ponto de medição está mostrando a temperatura na fase A, após a substituição do disjuntor.

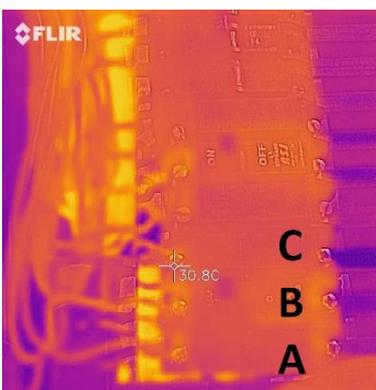
Figura 20 - Inspeção 01 parte 2 (Temperatura Fase B – 30,5 °C).



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 20 o ponto de medição está mostrando a temperatura na fase B, após a substituição do disjuntor.

Figura 21 - Inspeção 01 parte 2 (Temperatura Fase C – 30,8 °C).



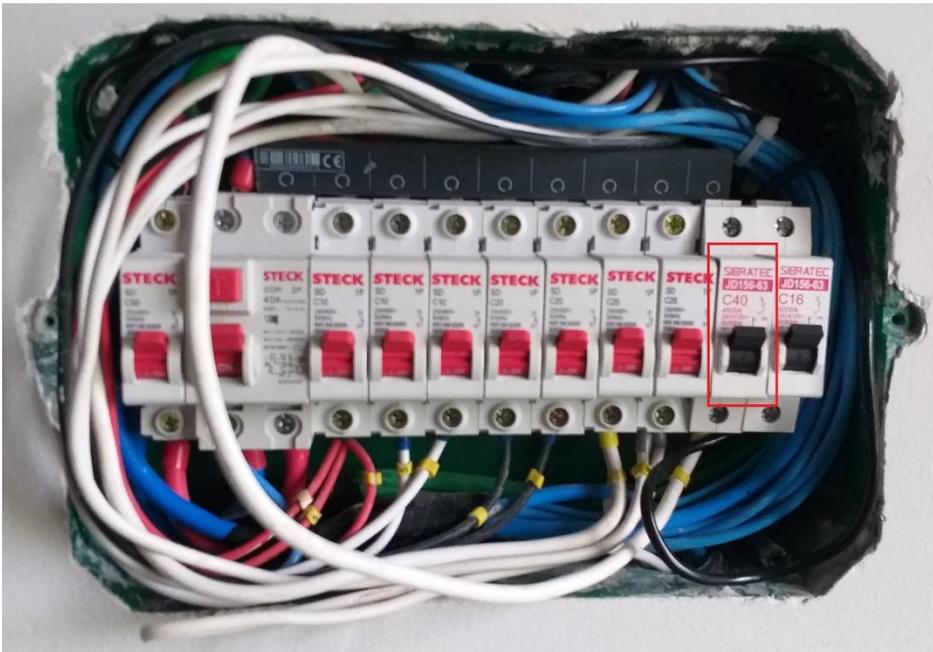
Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 21 o ponto de medição está mostrando a temperatura na fase C, após a substituição do disjuntor.

3.4 INSPEÇÃO 02

No dia 03 de outubro de 2020 foi realizada uma inspeção de rotina no circuito do chuveiro de um outro cliente, morador de um edifício no bairro Congonhas em Tubarão, onde já havia sido feita a substituição do disjuntor, o qual havia sido dimensionado corretamente, porém apresentou defeito causado provavelmente pela alta temperatura que o cabo atingiu em seu momento de utilização, já que, conforme NBR NM 60898:2004 a máxima temperatura de operação do disjuntor é de 55 °C. A fim de garantir que o sistema continuava funcionando corretamente após a troca do disjuntor defeituoso é que essa inspeção foi realizada. O novo disjuntor ligado ao circuito deste chuveiro aparece em destaque na Figura 22.

Figura 22 - Inspeção 02 (Caixa de disjuntores).

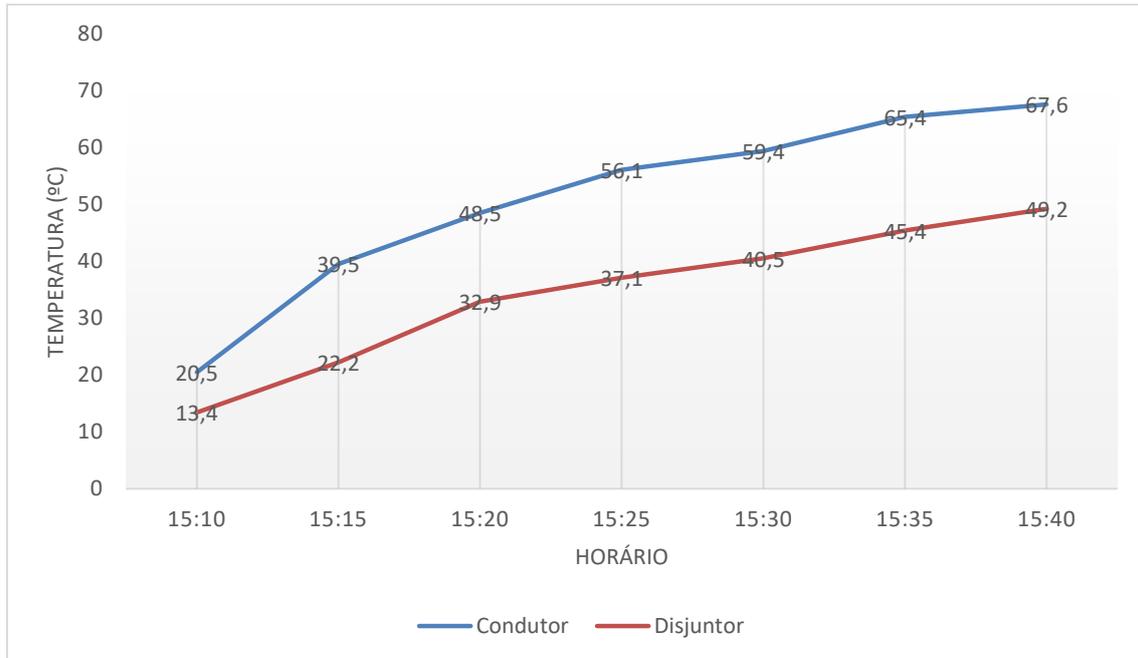


Fonte: Autoria Própria.

Para realizar a inspeção o chuveiro foi mantido funcionando em potência máxima (7800 W) durante o período de meia hora. Imagens termográficas do quadro de disjuntores foram recolhidas em intervalos de cinco minutos e revelaram um aumento de temperatura constante no disjuntor bem como no condutor a ele ligado.

O Gráfico 4 representa as temperaturas do condutor (em azul) e do disjuntor (em vermelho), onde consegue-se perceber ambos trabalhando perto do limite de funcionamento apropriado.

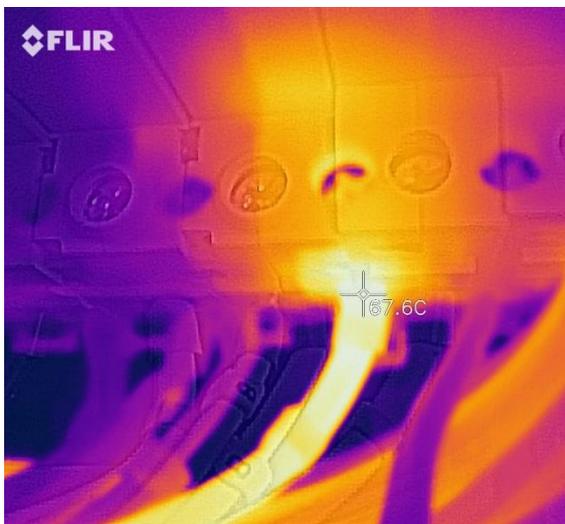
Gráfico 4 – Inspeção 02 (Temperatura de condutor e disjuntor ao longo do tempo)



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 23 a seguir mostra a imagem térmica, com a medição de maior temperatura atingida no condutor (67,6 °C) da inspeção 02.

Figura 23 - Inspeção 02 (Temperatura no condutor).



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 24 a seguir mostra a imagem térmica, com a medição de maior temperatura atingida no disjuntor (49,2 °C) da inspeção 02.

Figura 24 - Inspeção 02 (Temperatura no disjuntor).



Fonte: Autorial Própria.

A Figura 25 abaixo mostra o chuveiro em questão em funcionamento.

Figura 25- Inspeção 02 (Chuveiro)



Fonte: Autorial Própria.

Outro morador do mesmo condomínio ainda relatou o derretimento dos cabos do circuito de seu chuveiro, muito provavelmente em decorrência de um curto-circuito. Portanto pode-se perceber que problemas com chuveiros são recorrentes nesse edifício, tais problemas

ocorrem devido a qualidade dos cabos utilizados nas instalações, uma vez que se constatou que os aparelhos foram instalados de forma apropriada e os disjuntores foram corretamente dimensionados.

Após esta inspeção foi sugerido ao cliente a substituição dos cabos do circuito do chuveiro por condutores de melhor qualidade, para que não ocorram acidentes devido à baixa qualidade do cabo utilizado.

3.5 INSPEÇÃO 03

No dia 17 de outubro de 2020 foi solicitada uma inspeção elétrica no circuito de um chuveiro, instalado em um quiosque no bairro Pirago, zona rural do município de Urussanga. O cliente em questão relatou o mal funcionamento do aparelho recém instalado; segundo ele, a instalação foi realizada por um vizinho que, segundo consta, não possui curso técnico de eletricista.

Antes mesmo de se realizar uma vistoria térmica no circuito, foram constatados alguns problemas na instalação. O chuveiro com potência igual a 7700 W foi instalado com cabos de área de secção igual a 2,5 mm² (subdimensionado), além da cor azul, que conforme NBR 5410 deve ser usada para indicar o neutro, ter sido usada no cabo de fase ligado ao disjuntor pela parte de baixo.

Sendo a potência desse chuveiro a mesma dos utilizados na Experiência 01, nota-se que, apesar do cabo utilizado estar subdimensionado (deveria ser pelo menos 6 mm²) o disjuntor foi dimensionado corretamente (curva C, 40 A) assim como o conector de emenda utilizado que também atendia as normativas.

A Figura 26 mostra o chuveiro em questão.

Figura 26 - Inspeção 03 (Chuveiro Instalado com Cabo 2,5mm²)



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 27 mostra o disjuntor ligado a esse chuveiro instalado em um quadro de PVC embutido na parede.

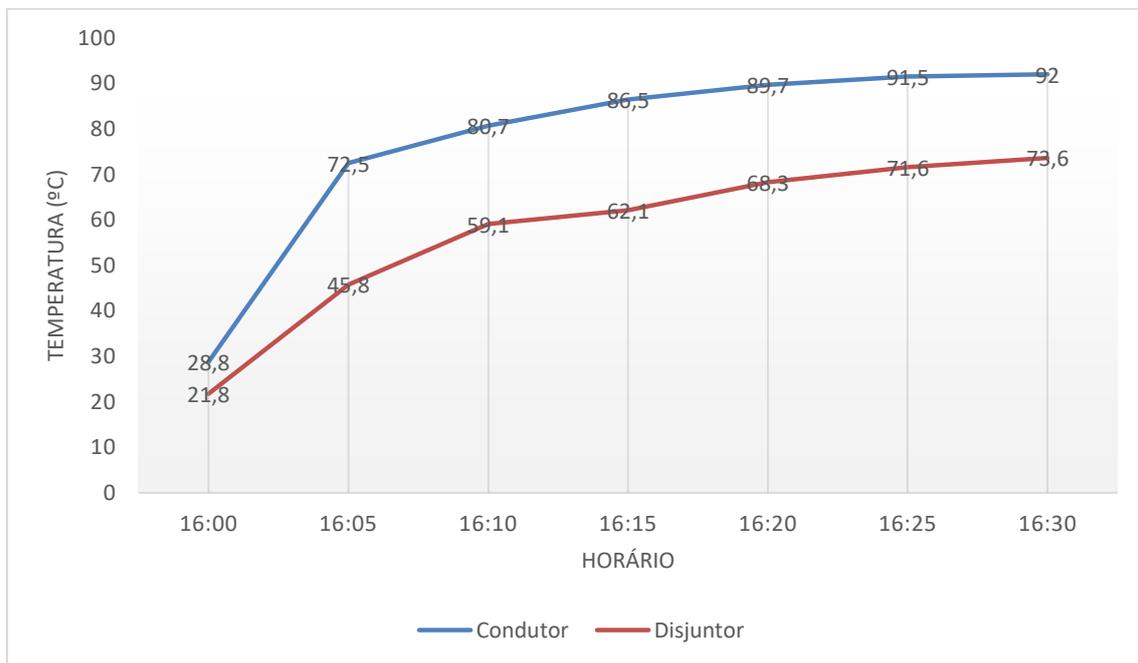
Figura 27 - Inspeção 03 (Disjuntor Chuveiro Ligado com Cabo 2,5 mm²)



Fonte: Autoria Própria.

Foi dado início então a inspeção térmica. O aparelho foi mantido funcionando em potência máxima ao longo de 30 minutos, período no qual foram registradas algumas imagens termográficas em intervalos de 5 minutos. O Gráfico 5, que representa as temperaturas obtidas ao longo do tempo, mostra um aumento abrupto de temperatura, tanto no condutor quanto no disjuntor em um curto intervalo de tempo. O subsequente aumento levou ambos a trabalharem acima da temperatura de regime permanente estabelecida pelas normas técnicas supracitadas.

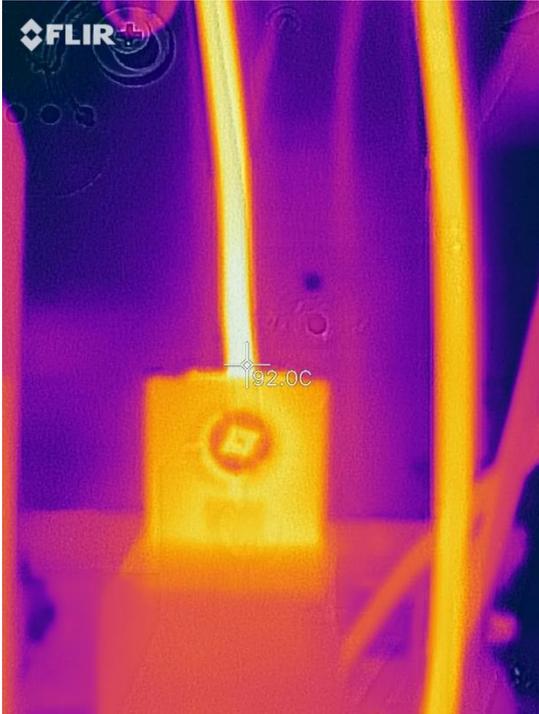
Gráfico 5 - Inspeção 03 (Temperatura de condutor e disjuntor ao longo do tempo)



Fonte: Aatoria Própria.

A Figura 28 mostra a maior temperatura atingida durante o tempo de inspeção, sendo esta de 92 °C.

Figura 28 - Inspeção 03 (Temperatura no condutor)



Fonte: Autoria Própria.

Após realizada esta inspeção foi recomendada a substituição imediata dos cabos condutores do circuito por cabos de bitola apropriada, substituição do chuveiro (já avariado devido a instalação inapropriada) e contratação de mão de obra especializada para a realização destes serviços.

4 CONCLUSÃO

4.1 CONCLUSÃO EXPERIÊNCIA 01

A experiência realizada pelos acadêmicos teve por objetivo demonstrar a diferença entre aparelhos instalados de forma correta e incorreta, o qual foi alcançado com êxito. Através das imagens termográficas ficou nítida a forma como o chuveiro instalado incorretamente apresentou um aquecimento maior de seus cabos que, apesar de não terem esquentado a ponto de entrarem em curto-circuito durante o experimento, acabaram por danificar os componentes eletrônicos do aparelho devido à alta temperatura.

Numa situação real, caso o chuveiro não fosse um modelo com comando eletrônico, o mesmo continuaria funcionando normalmente e, sem que o usuário notasse qualquer problema, os cabos e componentes da ligação continuariam se deteriorando devido à temperatura excessiva, podendo levar a um curto-circuito que não apenas acarretaria em prejuízos financeiros mas também colocaria em risco a vida humana devido a possibilidade de dar origem a um incêndio elétrico.

4.2 CONCLUSÃO INSPEÇÃO 01

Através da Inspeção 01 foi possível constatar que com uma rápida inspeção de rotina é possível prevenir acidentes e falhas de origem elétrica. O alto valor de temperatura em uma das fases do disjuntor chegou próximo a sua máxima temperatura de operação, o que poderia futuramente causar uma falha potencialmente perigosa e que afetaria inclusive à saúde de terceiros, já que se trata do quadro de força de uma clínica médica.

Neste caso específico, como já foi relatado anteriormente, o disjuntor trifásico não estava conectado a cargas desbalanceadas, sendo o superaquecimento observado causado provavelmente pelo desgaste do tempo ou por um defeito de fabricação no conector de uma das fases do produto. Sem as imagens capturadas pela câmera térmica, não haveria forma de detectar a anomalia presente nesse disjuntor até que ela viesse a causar algum acidente.

4.3 CONCLUSÃO INSPEÇÃO 02

Com a Inspeção 02 constatou-se na prática aquilo que foi simulado na Experiência 01 com relação à utilização de cabos condutores de má qualidade, o que ocasionou um

aumento elevado na temperatura de funcionamento que resultou na falha do antigo disjuntor do circuito. Mesmo com a substituição dessa peça, não é possível estimar quanto tempo levará para que o novo disjuntor apresente o mesmo defeito enquanto os cabos não forem substituídos por outros de melhor qualidade.

Sem a termografia que revelou a anomalia em relação à temperatura apresentada pelo cabo seria difícil encontrar a causa do problema, uma vez que, visualmente, os cabos utilizados no circuito aparentam atender às normas e tudo mais foi dimensionado corretamente.

4.4 CONCLUSÃO INSPEÇÃO 03

Através da inspeção 03 percebe-se o quão importante é um trabalho realizado por profissionais capacitados, já que foi detectada uma sequência de erros nessa instalação. O cabo utilizado na instalação, de seção igual a 2,5 mm², de acordo com a norma NBR5410 deve ser usado em circuitos de tomadas de uso geral e não em tomadas de uso específico, sendo esse provavelmente o motivo que levou a sua utilização nesse circuito, já que é comum algumas pessoas sem conhecimentos técnicos solicitarem a instalação de uma tomada de uso comum no chuveiro.

Nessa ocasião, a termografia não chega a ser necessária para detectar anomalias, visto que qualquer profissional qualificado é capaz de perceber as falhas citadas a olho nu, no entanto as imagens térmicas do circuito deixam claro quão perigosa é uma instalação inadequada, já que as temperaturas observadas estavam realmente acima dos limites estabelecidos pelas normas.

4.5 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos a partir da experiência e das inspeções realizadas demonstraram a utilidade da termografia como técnica de manutenção preventiva e preditiva para evitar acidentes. O experimento provou que o superaquecimento de condutores mal dimensionados ou de qualidade inferior é real e facilmente detectável através da lente de uma câmera térmica e as inspeções demonstraram seus riscos na prática. Em todos os casos estudados seria difícil a detecção de anomalias usando apenas a visão humana; sem a utilização da termografia provavelmente ocorreriam acidentes que poderiam ser evitados, tal

como o relatado pelo morador durante a Inspeção 02 que presenciou o derretimento dos cabos de seu chuveiro.

Existem no mercado câmeras térmicas de custo mais baixo com boa confiabilidade e facilidade de utilização, é uma tecnologia que pode ser utilizada até mesmo por profissionais autônomos a fim de facilitar o seu trabalho de manutenção e obter uma avaliação mais precisa das possíveis causas de anomalias em sistemas elétricos.

4.6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como parte da manutenção residencial seria interessante também uma abordagem específica da qualidade de pinos machos, pinos adaptadores (benjamins), os quais comumente causam acidentes e problemas em equipamentos a eles conectados, como percebemos com bastante frequência trabalhando diretamente com essa área de manutenções. Talvez com estudos em laboratório em parceria com empresas especializadas nas normatizações desses produtos que atualmente realizam testes apenas com a utilização de sensores tipo termopar.

REFERÊNCIAS

- ABRACOPEL. Acidentes de Origem Elétrica 2019 – ano base 2018. **Anuário Estatístico Abracopel**, Salto. 2019.
- ABRACOPEL. 2020 – ano base 2019. **Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica**, Salto. 2020.
- AMARANTE, Heverton Marcello Schenigoski; PONTES, José Carlos Alberto de; MICHALOSKI, Ariel Orlei. Termografia na prevenção de acidentes no sistema elétrico de potência. **Espacios**, [s. L.], v. 37, n. 23, p. 24-24, 12 maio 2016. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a16v37n23/16372324.html>. Acesso em: 28 fev. 2020.
- ARAÚJO, Bianca Maria Costa. **Estudo de Cálculo de Curto-Circuito em Instalações Offshore Utilizando a Norma IEC-61363 do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <https://www.ufjf.br/prh-pb214/files/2014/01/Bianca-Estudo-de-c%3a1lculo-de-curto-circuito-em-instala%c3%a7%c3%b5es-offshore-utilizando-a-norma-IEC-61363.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5471**: Condutores Elétricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15572**: Ensaio Não Destrutivo — Termografia — Guia Para Inspeção de Equipamentos Elétricos e Mecânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 247-3**: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V inclusive Parte 3: Condutor isolado (sem cobertura) para instalações fixas (IEC 60227-3, MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 60898**: Disjuntores Para Proteção de Sobrecorrentes Para Instalações Domésticas e Similares. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BARRERA, Priscila. Copper Price Update: Q2 2020 in Review. **Investing News**, c2020. Disponível em: <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/copper-investing/copper-price-update/>. Acesso em: 17 de set. de 2020.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2011.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Nova York, 2011.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa**. 4. ed. Tradução de Fátima A. M. Lino. Nova York, 2011.

CHILTON, Alexander. The Working Principle and Key Applications of Infrared Sensors. **AZO Sensors**, c2014. Disponível em: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=339>. Acesso em: 11 de out. de 2020.

CHRZANOWSKI, Krzysztof. **Non-Contact Thermometry; Measurement Errors**. 7. Ed. Varsóvia, 2001.

COHN, Ronald; RUSSELL, Jesse. **Joule Heating**. EUA. 2012.

COM oferta em risco, cobre chega ao maior preço desde 2018. **Moneytimes**, c2020. Disponível em: <https://www.moneytimes.com.br/com-oferta-em-risco-cobre-chega-ao-maior-preco-desde-2018/>. Acesso em: 17 de set. de 2020.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson & Artmed, 2009. 485 p. Revisão e atualização técnicas por: Hilton Moreno e José Aquiles Baesso Grimoni.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016. 502 p. Atualizado e revisado por: Luiz Sebastião Costa.

DINIZ, Henrique Eduardo Pinto. **Termografia Quantitativa como Ferramenta de Gestão de Ativos do Sistema Elétrico de Potência do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais**. 2013. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9BNFDM/1/dissert_diniz_hep___termog_quant_ferram_gest_ativos_sep___mestrado_2013.pdf. Acesso em: 28 fev. 2020.

DRAMICANIN, Miroslav. **Luminescence Thermometry; Methods, Materials and Applications**. Reino Unido, 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física; Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10. Ed. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro 2016.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. Ed. Rio de Janeiro. 2017.

OLIVEIRA, Tiago Miguel Dias. **Análise de Sistemas de Energia e Máquinas Elétricas com recurso a termografia do Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**. 2012. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~ee01125/files/dissertacao%20versao%20provisoria%20tiago%20oliveira.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2020.

SILVA, Mauricio Dias Paixão da. **Prevenção De Acidentes Nas Instalações Elétricas do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro**. 2016. 123 f. TCC (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017749.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2020.

WORLDOMETER. **World Population Clock: 7,8 Billion People**, c2020. Página inicial. Disponível em: <https://www.worldometers.info/world-population/>. Acesso em: 24 de maio de 2020.

ANEXO – FLIR ONE PRO DATASHEET

Este é o *datasheet* da FLIR ONE Pro, uma câmera termográfica da empresa FLIR.

SPECIFICATIONS

Specifications by product	FLIR ONE Pro LT	FLIR ONE Pro
Thermal pixel size	17 µm	12 µm
Thermal resolution	4,800 pixels (80 × 60)	19,200 pixels (160 × 120)
Thermal sensitivity	100 mK	70 mK
Object temperature range	-20°C to 120°C (-4°F to 248°F)	-20°C to 400°C (-4°F to 752°F)
Common features		
Certifications	MFI (iOS version), RoHS, CE/FCC, CEC-BC, EN62133	
Operating temperature	0°C to 35°C (32°F to 95°F), battery charging 0°C to 30°C (32°F to 86°F)	
Non-operating temperature	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)	
Size (w × h × d)	68 × 34 × 14 mm (2.7 × 1.3 × 0.6 in)	
Weight (incl. battery)	36.5 g	
Mechanical shock	Drop from 1.8 m (5.9 ft)	
Optical data		
Spectral range	8 – 14 µm	
Visual resolution	1440 × 1080	
HFOV / VFOV	50° ±1° / 43° ±1°	
Frame rate	8.7 Hz	
Focus	Fixed 15 cm – Infinity	
Measurement		
Accuracy	±3°C (5.4°F) or ±5%, typical percent of the difference between ambient and scene temperature. Applicable 60 sec after start-up when the unit is within 15°C to 35°C (59°F to 95°F) and the scene is within 5°C to 120°C (41°F to 248°F)	
Emissivity correction	Matte, Semi-Matte, Semi-Glossy, Glossy	
Measurement correction	Emissivity; Reflected apparent temperature (22°C / 72°F)	
Shutter	Automatic/Manual	

Power	
Battery life	Approximately 1 hr
Battery charge time	40 min
Interfaces	
Video	Male Lightning (iOS), Male USB-C (Android), Micro-USB (Android)
Charging	Female USB-C (5V/1A)
App	
Image presentation modes	Infrared, visual, MSX, gallery
VividIR	Yes
Palettes	Gray (white hot), Hottest, Coldest, Iron, Rainbow, Rainbow HC, Arctic, Lava, and Wheel
Capture modes	Video, photo, time-lapse
Video and still image display/capture	Saved as 1440 × 1080
File formats	Radiometric JPG, MPEG-4 (file format MOV (iOS), MP4 (Android))
Spot meter	On/off; Resolution 0.1°C (0.1°F)
Adjustable MSX distance	0.3 m – Infinity
Visual battery indicator	0-100%



Specifications are subject to change without notice. For the most up-to-date specs, go to www.flir.com

CORPORATE HEADQUARTERS
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
PH: +1 877.773.3547

NASHUA
FLIR Systems, Inc.
9 Townsend West
Nashua, NH 03063
USA
PH: +1 888.477.3687

LATIN AMERICA
FLIR Systems Brasil
Av. Antonio Bardella, 320
Sorocaba, SP 13085-852
Brazil
PH: +55 15 3238 7080

CANADA
FLIR Systems, Ltd.
920 Sheldon Court
Burlington, ON L7L 5K6
Canada
PH: +1 800.613.0507

www.flir.com
NASDAQ: FLIR

Equipment described herein is subject to US export regulations and may require a license prior to export. Diversion contrary to US law is prohibited. Imagery for illustration purposes only. Specifications are subject to change without notice. ©2018 FLIR Systems, Inc. All rights reserved. 05/18
18-1165-INS

FLIR | The World's Sixth Sense®