



# Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias 2

Henrique Ajuz Holzmann  
Micheli Kuckla  
(Organizadores)

Atena  
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann  
Micheli Kuckla  
(Organizadores)

# Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Natália Sandrini e Lorena Prestes

**Revisão:** Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P856 Possibilidades e enfoques para o ensino das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Micheli Kuckla. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-273-9

DOI 10.22533/at.ed.739192204

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Kuckla, Micheli.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



## APRESENTAÇÃO

As obras Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias Volume 1 e Volume 2 abordam os mais diversos assuntos sobre a aplicação de métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação ensino-aprendizado, sendo por meio de levantamentos teórico-práticos de dados referentes aos cursos ou através de propostas de melhoria nestas relações.

O Volume 1 está disposto em 26 capítulos, com assuntos voltados a relações ensino-aprendizado, envolvendo temas atuais com ampla discussão nas áreas de Ensino de Ciência e Tecnologia, buscando apresentar os assuntos de maneira simples e de fácil compreensão.

Já o Volume 2 apresenta uma vertente mais prática, sendo organizado em 24 capítulos, nos quais são apresentadas propostas, projetos e bancadas, que visam melhorar o aprendizado dos alunos através de métodos práticos e aplicados as áreas de tecnologias e engenharias.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

Micheli Kuchla

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTIVO NO ENSINO DE GESTÃO DA PRODUÇÃO	
Daniel Antonio Kapper Fabricio Lisiane Trevisan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
CULTURA DE SEGURANÇA – FATOR DETERMINANTE PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	
Lucass Melo Renata Evangelista Alexandre Bueno Débora Vasconcelos Carla Souza André Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
ABORDAGEM DE SUSTENTABILIDADE NOS CURSOS BRASILEIROS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	
Gabriella Cavalcante de Souza Isadora Cristina Mendes Gomes Gustavo Fernandes Rosado Coêlho Ciliana Regina Colombo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO NUMA EMPRESA RECUPERADA POR TRABALHADORES: UMA EXPERIÊNCIA PARA O EXERCÍCIO DA INDISSOCIABILIDADE ENSINO-PESQUISA-EXTENSÃO	
Beatriz Mota Castro de Abreu Alice Oliveira Fernandes Tarcila Mantovan Atolini	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE BUSCA E ARMAZENAGEM DE MATERIAIS PARA FINS DIDÁTICOS	
Walber Márcio Araújo Morais Wesley de Almeida Souto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 58**

LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE ROBÓTICA BÁSICA APLICADA NO ENSINO DE MATEMÁTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL

Márcio Mendonça  
Lucas Botoni de Souza  
Rodrigo Henrique Cunha Palácios  
Paulo Henrique Arizono Lima  
Marília Gabriela de Souza Fabri  
José Augusto Fabri

**DOI 10.22533/at.ed.7391922046**

**CAPÍTULO 7 ..... 71**

ROBÓTICA EDUCACIONAL NA ENGENHARIA – SUMÔ DE ROBÔS

Alessandro Bogila  
Denis Borg  
Fernando Deluno Garcia  
Ivan Luiz de Camargo Barros Moreira  
Joel Rocha Pinto  
Thales Prini Franchi  
Thiago Prini Franchi

**DOI 10.22533/at.ed.7391922047**

**CAPÍTULO 8 ..... 84**

BR.INO: UMA FERRAMENTA PARA ENSINO DE PROGRAMAÇÃO EM ARDUINO PARA APLICAÇÕES EM ROBÓTICA USANDO LINGUAGEM NATIVA

Gabriel Rodrigues Pacheco  
Mateus Berardo de Souza Terra  
Rafael Mascarenhas Dal Moro  
Víctor Rodrigues Pacheco  
Carlos Humberto Llanos

**DOI 10.22533/at.ed.7391922048**

**CAPÍTULO 9 ..... 94**

RELATO DE EXPERIÊNCIA: USO DE TÉCNICAS GAMIFICAÇÃO NO ENSINO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Caio Sanches Bentes  
Ronaldo de Freitas Zampolo

**DOI 10.22533/at.ed.7391922049**

**CAPÍTULO 10 ..... 105**

LABORATÓRIO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS APLICADO À FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO DE ENERGIA – GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS

Kariston Dias Alves  
Rudi Henri Van Els

**DOI 10.22533/at.ed.73919220410**

**CAPÍTULO 11 ..... 117**

A IMPORTÂNCIA DO LABORATÓRIO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS E FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva  
Douglas Aurélio Carvalho Costa  
Obed Leite Vieira  
Fellipe Souto Soares  
Paulo Cesar Marques de Carvalho  
Magna Livia Neco Rabelo  
Pollyana Rodrigues de Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.73919220411**

**CAPÍTULO 12 ..... 129**

AValiação DO USO DA TECNOLOGIA SOFTPLC PARA APRENDIZAGEM DE TÉCNICAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Deliene Costa Guimarães  
Reberth Carolino de Oliveira  
Renata Umbelino Rêgo

**DOI 10.22533/at.ed.73919220412**

**CAPÍTULO 13 ..... 140**

CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE

Everton Machado  
Alexsandro dos Santos Silveira  
João Artur de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.73919220413**

**CAPÍTULO 14 ..... 152**

PAINEL DIDÁTICO PARA ENSINO-APRENDIZAGEM DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA APLICADA À MANUTENÇÃO ELÉTRICA

Priscila Ribeiro Amorim de Almeida  
Pablo Rodrigues Muniz

**DOI 10.22533/at.ed.73919220414**

**CAPÍTULO 15 ..... 165**

PROPOSTA DE KIT DIDÁTICO PARA ESTUDO DE INTEGRIDADE DE SINAL EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Pablo Dutra da Silva  
Giovane Rodrigues de Oliveira  
Gustavo Melsi Floriani

**DOI 10.22533/at.ed.73919220415**

**CAPÍTULO 16 ..... 177**

ANÁLISE E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIOS E CHOQUE ELÉTRICO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM MORÁDIAS DE BAIXA RENDA

Márcio Mendonça  
Lucas Botoni de Souza  
Rodrigo Henrique Cunha Palácios  
Giovanni Bruno Marquini Ribeiro  
Marco Antônio Ferreira Finocchio  
José Augusto Fabri

**DOI 10.22533/at.ed.73919220416**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>190</b>
SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA ENSINO DE PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA	
<p>Luiz Guilherme Riva Tonini  Oureste Elias Batista  Augusto César Rueda Medina  Andrei Carlos Bastos</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>203</b>
CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CARACTERIZAÇÃO DE COMPRESSORES	
<p>Alexsandro dos Santos Silveira  João Artur de Souza</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>215</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM PÓRTICO INSTRUMENTADO DIDÁTICO	
<p>Matheus Berghetti  Albino Moura Guterres  Alexsander Furtado Carneiro</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>226</b>
AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE VERIFICAÇÃO DE PERFIS DE AÇO LAMINADO SOLICITADOS À FLEXÃO NORMAL SIMPLES E AXIALMENTE CONFORME CRITÉRIOS DA ABNT NBR 8800:2008	
<p>Lucas Tarlau Balieiro  Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro  Roberto Racanicchi</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>241</b>
ENSAIO DE FLEXÃO DE UMA VIGA COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE TRANSFORMAÇÕES DE TENSÕES	
<p>Bruno Eizo Higaki  Fernando Cesar Dias Ribeiro  Marcello Cherem</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>251</b>
UTILIZAÇÃO DE PROJETOS DE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS E CANAIS NA DISCIPLINA HIDRÁULICA DO CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL	
<p>Kelliany Medeiros Costa  José Leandro da Silva Duarte  Maria Leandra Madeiro de Souza</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220422</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>259</b>
MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DA INOVADORA METODOLOGIA SIX SIGMA: UM ESTUDO EMPÍRICO	
<p>André Luis Martins de Souza  Pedro de Freitas Silva</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220423</b>	



<b>CAPÍTULO 24 .....</b>	<b>287</b>
UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DE DEFORMAÇÕES EM PAINÉIS DE MADEIRA DE <i>PINUS OCCARPA</i>	
Eduardo Hélio de Novais Miranda	
Rodrigo Allan Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.73919220424	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>295</b>

## PAINEL DIDÁTICO PARA ENSINO-APRENDIZAGEM DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA APLICADA À MANUTENÇÃO ELÉTRICA

### **Priscila Ribeiro Amorim de Almeida**

Instituto Federal do Espírito Santo –  
Coordenadoria de Engenharia Elétrica  
Vitória – Espírito Santo

### **Pablo Rodrigues Muniz**

Instituto Federal do Espírito Santo –  
Coordenadoria de Engenharia Elétrica  
Vitória – Espírito Santo

Artigo publicado originalmente nos anais do COBENGE 2018 - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia.

**RESUMO:** A termografia infravermelha é uma das principais técnicas de manutenção preditiva. Ela consiste em medições de temperatura à distância e análise dos termogramas obtidos. A termografia é muito utilizada no setor elétrico, pois grande parte dos equipamentos elétricos apresenta diferenças térmicas antes de uma avaria. Atualmente há dificuldade no ensino-aprendizagem de inspeção termográfica, pois a aula em instalação elétrica real não é recomendada devido à necessidade de inserção de defeitos. Assim, este trabalho desenvolveu um protótipo para ser utilizado como recurso didático para ensino-aprendizagem da termografia. Para isso, um conjunto de manobra foi projetado e construído e nele foram simulados os principais defeitos elétricos: mau contato, subdimensionamento

de condutores e interrupção de condutores em paralelo. O painel didático montado foi utilizado em aulas-piloto com alunos de curso técnico e de curso superior da área de eletricidade. A partir do projeto do painel e das aulas-piloto, foram elaborados um roteiro para as aulas práticas e um manual docente. Concluiu-se que o conjunto de manobras proposto é um bom recurso didático para ensino-aprendizagem da termografia quando comparado a aulas em instalações reais, considerando o controle dos recursos didáticos e a segurança operacional e das pessoas.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Termografia infravermelha. Ensino de engenharia. Detecção de defeitos elétricos. Manutenção preditiva. Conjunto didático.

**ABSTRACT:** Infrared thermography is one of the most performed predictive maintenance techniques. It consists of contactless temperature measurements and analysis of their thermograms. Thermography is widely used in the electrical sector, once most of electrical equipment presents thermal differences before a failure. Currently, teaching-learning thermographic inspection is not trivial, because training in actual electrical installation is not recommended due to the need for defect insertion. Thus, this paper developed a prototype to be used as a didactic resource for

teaching-learning thermography. For this, a switchgear was designed and built, and most common electrical defects were simulated: poor contact, undersized conductors and interruption of parallelly conductors. The didactic electrical panel was evaluated in pilot classes with students of technical and undergraduate education in the electricity area. From the panel design and the pilot classes, a student guide for practical classes and a teaching manual were developed. It was concluded that the proposed didactic switchgear is a good resource for infrared thermography teaching-learning when compared to classes in actual installations, by means of didactic resources control and operational and personal safeties.

**KEYWORDS:** infrared imaging, engineering education, electrical fault detection, predictive maintenance, didactic kit.

## 1 | INTRODUÇÃO

As concessionárias brasileiras de energia elétrica estão sujeitas a regras cada vez mais rígidas do órgão regulador no que tange o tempo e o número de desligamentos permitidos aos clientes (SANTIAGO; SOLVA, 2016). As interrupções do fornecimento de energia elétrica, oriundas de desligamentos programados e não programados, influenciam diretamente nos indicadores de continuidade, causando grandes prejuízos e transtornos para as concessionárias e consumidores (JUNIOR, 2016). Além disso, a competitividade e a produtividade provocam a necessidade de adaptação das empresas em modernizações tecnológica e gerencial. Os programas de gestão e manutenção são cada vez mais necessários e complexos e o perfil profissional desejado no mercado é delineado pelo desenvolvimento de novas tecnologias e pela adequação dos profissionais a elas vinculados (BELHOT, 2005).

A manutenção preditiva tem sido cada vez mais utilizada pelas empresas. Ela permite estimar quando o componente ou peça estarão próximos do seu limite de vida, assim a equipe de manutenção pode se programar para a intervenção e aquisição de peças, reduzindo gastos com estoque, e evitar paradas desnecessárias da linha de produção (MARCORIN; LIMA, 2003).

Grande parte dos desligamentos da energia elétrica são precedidas de sintomas que evidenciam a evolução de fenômenos térmicos (JUNIOR, 2016). A termografia infravermelha permite que esses sintomas sejam detectados e analisados de forma a direcionar corretamente as equipes de manutenção (SANTIAGO; SOLVA, 2016). Ela consiste em medições de temperatura realizadas a distância com termovisores e posterior análise dos termogramas obtidos (MUNIZ, 2014). A termografia tem sido utilizada em áreas onde o conhecimento sobre padrões de temperaturas e calor proverão dados relevantes sobre um sistema, processo ou estrutura. Assim, é possível detectar defeitos ainda na fase inicial, diminuindo os gastos com manutenção e o tempo em que o equipamento fica desligado. A termografia infravermelha contribui para que as concessionárias atendam os limites do órgão regulador, melhorem a qualidade dos

serviços, aumentando a satisfação do consumidor final, garantam maior segurança para empregados e para a população, maior produtividade e melhoria da rotina de manutenção, além da redução de perdas de consumo, ressarcimento por interrupções e redução dos custos de manutenção e aquisição (SANTIAGO; SOLVA, 2016).

A análise dos termogramas indicará se há falhas no equipamento. Por via de regra, pontos em que a temperatura está muito alta representam um provável defeito, porém, existem casos em que as temperaturas ficam abaixo da esperada (FLIR, 2008; MENDES et al., 2016).

Os defeitos mais comuns em equipamentos e instalações elétricas são curto circuito, circuito aberto, desequilíbrio de fases, mau contato e sobrecarga (JADIN; TAIB, 2012). A correção das falhas depende da filosofia da empresa, com apoio de critérios técnicos. Porém, em comparações de temperaturas entre componentes semelhantes, existem recomendações de manutenção, que são mostradas no Quadro 1 (MUNIZ, 2014).

Diferença de temperatura entre componentes similares	Sobreaquecimento em relação à condição padrão do próprio equipamento	Ação recomendada
De (1 a 3) ° C	De (1 a 10) °C	Continuar monitorando
De (4 a 15) ° C	De (11 a 20) °C	Reparar assim que for possível
---	De (21 a 40) °C	Monitorar continuamente até que o reparo seja feito.
Acima de 15 °C	Acima de 40 °C	Reparar imediatamente

Quadro 1 - Ações recomendadas de manutenção para equipamentos elétricos conforme resultados da inspeção termográfica.

Fonte: Muniz (2014).

Para que a análise termográfica seja feita corretamente é necessário que o inspetor possua treinamento adequado. As aulas práticas têm sido usadas há muito tempo para envolver estudantes em experiências concretas com objetos e conceitos que melhoram a compreensão da ciência (RIVERA-REYES; LAWANTO; PATE, 2017). Porém, elas dependem do desenvolvimento de materiais de apoio adequados. Os recursos instrucionais devem ser usados em sintonia com os métodos de ensino, para que esse conjunto didático facilite a recepção, o processamento das informações e a aprendizagem.

Atualmente há grande dificuldade no ensino de inspeção termográfica devido à não existência de equipamentos didáticos para esse fim. A aula em uma instalação elétrica real não é recomendada, devido à necessidade de inserção de defeitos, o que não é seguro dos pontos de vista de segurança operacional e de segurança do trabalho. Foram consultados sítios eletrônicos de fornecedores de conjuntos didáticos, a Base de Patentes Brasileiras do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI)

e o Google Patents, cujas buscas não apresentaram resultados para equipamentos didáticos com essa finalidade.

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um protótipo de conjunto de manobras que pode ser utilizado como recurso didático para ensino-aprendizagem de termografia infravermelha aplicada à manutenção preditiva de conjuntos de manobra elétricos, em sala de aula.

No painel educacional proposto foram implementados conceitos básicos de termografia simulando os defeitos elétricos mais recorrentes. Para tanto, foram levantados na literatura os principais defeitos elétricos detectáveis por termografia em instalações elétricas. O conjunto de manobras foi projetado e montado inicialmente sem defeitos. A análise termográfica foi feita no equipamento sem falhas e, em seguida, os defeitos foram inseridos. A termografia infravermelha foi feita no equipamento com falhas e observou-se que elas eram detectáveis através dos protocolos usuais de inspeção termográfica. Então, para testar o conjunto didático foram realizadas duas aulas-piloto. Por fim, foram elaborados um roteiro discente para a aula prática e um manual docente para auxiliar o professor.

## 2 | DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Principais defeitos detectados por termografia

Qualquer mudança na resistência elétrica de um dispositivo que conduz corrente elétrica faz com que o consumo de energia elétrica aumente em relação à condição referência em situação de conformidade, devido à maior dissipação de potência (AZMAT; TURNER, 2005). O excesso de potência provoca sobreaquecimento no dispositivo e, conseqüentemente, reduz seu ciclo de vida e sua eficiência (JADIN; TAIB, 2012). As temperaturas do equipamento podem ser observadas através da termografia e as falhas detectadas por meio da análise dos termogramas coletados. Os principais defeitos em componentes elétricos que causam alteração nos padrões de temperatura são: circuitos em curto ou em aberto, interrupção de cabos em paralelo, desequilíbrio de cargas, instalação inadequada, mau contato e sobrecargas (HUDA; TAIB, 2013). Tais defeitos são detalhados abaixo:

#### *2.1.1 Circuito em aberto*

A falta de fluxo de corrente faz com que um condutor de circuito aberto apresente um padrão térmico mais frio quando comparado a um condutor adjacente sob carga (JADIN; TAIB, 2012).

#### *2.1.2 Desequilíbrio de cargas*



Um sistema trifásico equilibrado deve apresentar uma distribuição uniforme de temperatura nas três fases. Assim, quando a temperatura de um condutor é muito baixa ou muito alta em relação aos outros condutores, do mesmo sistema trifásico equilibrado, ele apresenta uma anomalia (DIB; DJERMANE, 2016).

### *2.1.3 Instalação inadequada*

As capacidades de condução de corrente elétrica dos cabos elétricos e demais dispositivos estão diretamente relacionadas às condições térmicas de dissipação dos condutores e às condições operacionais (D'AVILA, 2007). Durante períodos prolongados em funcionamento normal, a corrente transportada por qualquer condutor deve ser tal que a temperatura máxima para serviço contínuo do cabo não seja ultrapassada (ABNT NBR 5410, 2004). Caso o condutor seja subdimensionado ou as condições de instalação (fator de agrupamento, local de instalação, proteção, queda de tensão, temperatura atmosférica, entre outros) forem inadequadas, ele apresentará sobreaquecimento, colocando em risco o isolamento do cabo e aumentando as perdas por efeito Joule.

### *2.1.4 Mau contato*

Este defeito está associado à diminuição da área de condução de fluxo de corrente entre as conexões elétricas (SCHUÍNA; MUNIZ; QUEMELLI, 2016), que pode ter sido causada pela baixa pressão entre os contatos, por contatos oxidados ou desgastados, por uma solda malformada, entre outros fatores (DIB; DJERMANE, 2016).

A título de ilustração, a Fig. 1 apresenta o termograma obtido nos condutores de alimentação e saída do protótipo desenvolvido após a inserção dos defeitos. Nela observa-se que a diferença de temperatura entre os pontos Sp1 e Sp2 é de 47,2 ° C. Ambos condutores estão submetidos à mesma corrente e possuem mesmas características operacionais e construtivas, então esperar-se-iam temperaturas semelhantes caso não houvesse defeito. Assim, essa discrepância de temperatura indica a existência de uma falha. O calor gerado é maior onde o defeito está localizado e uma porção de energia térmica se propaga por condução ou convecção para os arredores (DIB; DJERMANE, 2016). Neste exemplo, um mau contato foi inserido no condutor identificado pelo ponto Sp1.

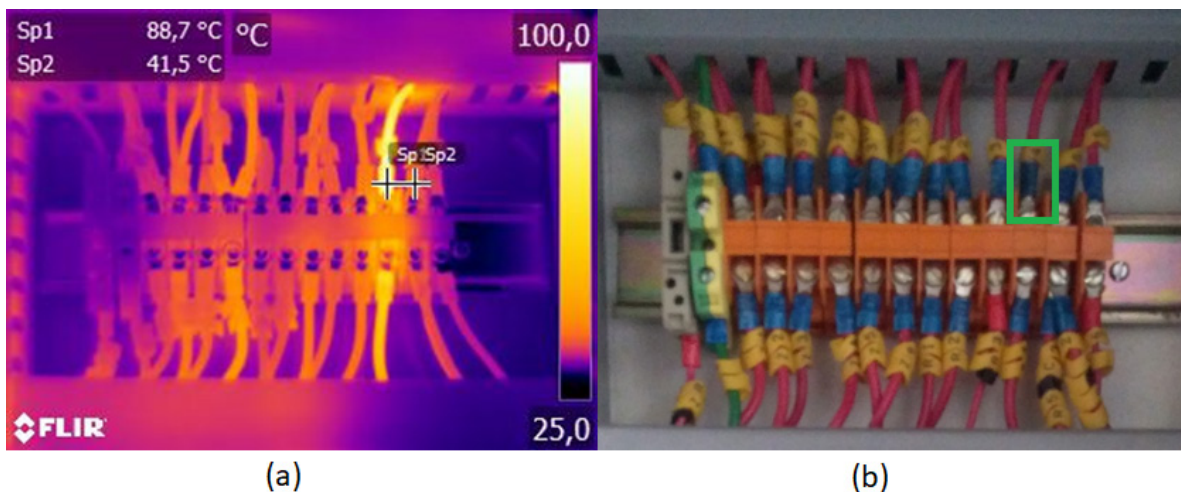


Figura 1 - a) Termograma mostrando o mau contato inserido no condutor de alimentação da carga. (b) Imagem da instalação real, o retângulo identifica a localização do mau contato no dispositivo.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

### 2.1.5 Interrupção de cabos em paralelo

Condutores em paralelo da mesma fase podem produzir um perfil termográfico inesperado. Caso haja um mau contato em um dos cabos ou o condutor esteja desconectado, a corrente será significativamente maior nos cabos com boas conexões e menos intensa nos cabos com conexões defeituosas. Em consequência a esse fato, poderá ocorrer uma maior dissipação de energia nas boas conexões do que nas conexões ruins (MENDES et al., 2016).

A disposição inadequada de cabos sobre o leito, quando existem vários condutores em uma fase ou em um circuito, pode causar desigualdade na impedância mútua. Cabos instalados em paralelo quando lançados de forma aleatória apresentam uma distribuição desigual de corrente em função do arranjo inadequado dos condutores. Dependendo da relação entre a corrente de operação e de projeto, os condutores com maior fluxo de corrente podem trabalhar com temperaturas superiores à normal de operação do material isolante, reduzindo sua vida útil. Outros fatores podem provocar diferença entre valores de corrente e consequentemente diferentes padrões de temperatura: cabos paralelos com comprimentos diferentes e indução de outros circuitos próximos (LOPES et al., 2006).

## 2.2 Projeto do painel e montagem sem defeito

Com o propósito de inserir uma quantidade satisfatória de defeitos e considerando a quantidade de componentes necessários, optou-se por montar o circuito de uma partida de motor elétrico trifásico do tipo estrela-triângulo ( $Y-\Delta$ ). Considerando as características dos circuitos de alimentação e de carga dos Laboratórios onde o conjunto de manobra didático seria utilizado, suas características de projeto são:

conjunto de manobra trifásico, 220 V, 20 A, 7,6 kVA.

Inicialmente, o conjunto didático foi montado sem defeitos, pois desejava-se que todos os defeitos do painel fossem inseridos propositalmente e, para fins de comparação futura, queria-se o padrão térmico do equipamento em condições conformes de operação.

Assim, a fim de assegurar o correto funcionamento do painel, foi efetuada uma inspeção termográfica com um termovisor Flir E60, cujas imagens foram analisadas através do programa de computador Flir Tools.

A análise termográfica do conjunto de manobras foi feita sob dois níveis de corrente elétrica. Observou-se que o aumento de 300 % da corrente provocou um aumento de 250 % na elevação de temperatura do circuito. Esse aumento na elevação da temperatura já era esperado devido ao Efeito Joule. A termografia do conjunto de manobras indicou que o painel não precisava passar por manutenção.

Após a execução e registro termográfico desta etapa, os defeitos puderam ser inseridos no conjunto didático.

## 2.3 Metodologia da inserção de defeitos

Os defeitos elétricos detectáveis por inspeção termográfica foram produzidos através dos procedimentos abaixo. Foram utilizadas chaves seccionadoras na implantação de grande parte das falhas. Essas chaves têm como finalidade didática inserir e retirar os defeitos no painel.

### 2.3.1 Circuito em aberto

Para inserção desse defeito foram utilizadas chaves seccionadoras que abrem o circuito, impedindo a passagem de corrente elétrica. A ausência de corrente, de maneira geral, provoca um padrão térmico mais frio no condutor quando comparado com um cabo submetido à corrente (JADIN; TAIB, 2012).

### 2.3.2 Interrupção de cabos em paralelo

Foram utilizados dois cabos para cada fase de alimentação do disjuntor diferencial instalado no conjunto de manobras. Uma chave seccionadora, quando aberta, impedirá a passagem de corrente em um dos cabos em paralelo da fase S. Nesse caso, a corrente será significativamente maior no cabo ainda conectado, assim, espera-se um aumento da dissipação de energia e conseqüente aumento de temperatura (MENDES et al., 2016).

### 2.3.3 Subdimencionamento de condutores

Para que o aluno observe a diferença de temperatura em dois condutores de

diferentes bitolas, sob mesma corrente e corretamente dimensionados, um cabo de seção de 2,5 mm<sup>2</sup> foi substituído por um condutor de 1 mm<sup>2</sup>. Os cabos adjacentes a este condutor são de 2,5 mm<sup>2</sup>. Almeja-se que, mesmo estando corretamente dimensionado, o cabo de 1 mm<sup>2</sup> aqueça mais, em comparação com um condutor de 2,5 mm<sup>2</sup> sob mesma corrente, por ter maior resistência elétrica à condução de corrente. Optou-se por não subdimensionar os cabos, pois a degradação dos condutores seria muito grande e eles teriam que ser mantidos frequentemente.

#### 2.3.4 Mau contato

Sabendo que qualquer diminuição na área de contato provoca aumento da potência dissipada e conseqüente aumento de temperatura (JADIN; TAIB, 2012), o mau contato foi produzido diminuindo a superfície de conector do tipo terminal olhal para aproximadamente 25% da área original. Para isso foi inserido papel isolante Nomex entre as duas partes (ASSUNÇÃO et al., 2015), como ilustra a Fig. 2.

Para averiguar se o mau contato foi inserido com êxito, a resistência dos cabos foi medida usando um miliohmímetro e comparada com a resistência dos cabos sem defeito. Em todos os casos, o aumento das resistências dos condutores foi superior a 64 %.

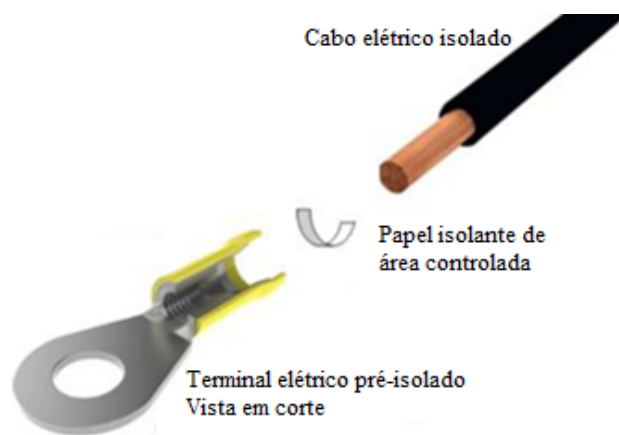


Figura 2 - Manipulação da área de contato entre o cabo condutor e o terminal pré-isolado.

Fonte: Assunção et al. (2015).

## 3 | RESULTADOS

### 3.1 Painel finalizado

A inspeção termográfica realizada no painel com defeitos mostrou que todos os defeitos, excetuando-se interrupção de cabos em paralelo, eram detectáveis pela termografia através da aplicação de protocolos usuais de inspeção, e que ajustes não precisariam ser feitos. Apesar de ser de difícil percepção, por apresentar elevação de

temperatura de 2,3 °C, o defeito interrupção de cabos em paralelo pode ser utilizado como recurso instrucional, pois mostra que as falhas podem ser mascaradas pela irradiação de calor proveniente de outros dispositivos fisicamente próximos, que é o caso em questão. Além disso, a análise termográfica indicou que os defeitos foram implementados de forma assertiva. Dessa forma, foi feita a organização final do painel e os equipamentos foram identificados fisicamente. A Fig. 3 mostra o painel externa e internamente.

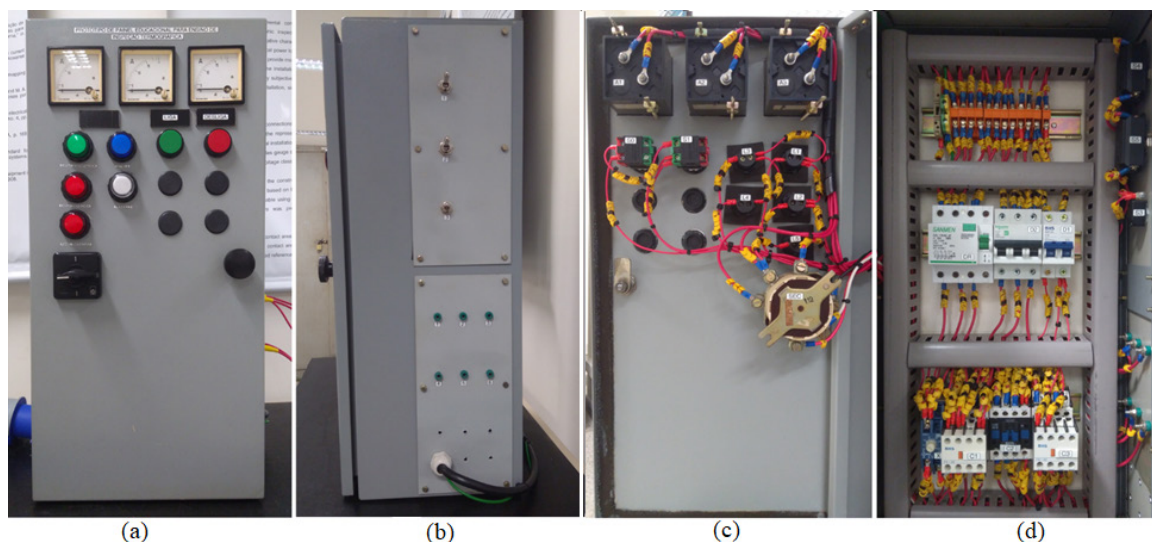


Figura 3 - (a) Vista frontal. (b) Vista lateral. (c) Dispositivos fixados na porta do conjunto de manobra. (d) Equipamentos no interior do invólucro.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

### 3.2 Aulas piloto

Foram realizadas aulas piloto nos dias 7 e 10 de novembro de 2017, para as turmas de Manutenção industrial do Curso Superior em Engenharia Elétrica e de Manutenção elétrica industrial do Curso Técnico em Eletrotécnica Concomitante ao Ensino Médio, do Campus Vitória do Ifes. Participaram das aulas, no total, 31 alunos, sendo esses de ambos os gêneros, feminino (26 %) e masculino (74 %), e com idades entre 17 anos e 41 anos.

Antes da aula piloto ocorrer, aproximadamente 94 % dos estudantes já haviam feito uma aula prática sobre termografia sem recursos didáticos específicos. Essa aula consistiu, em poucas palavras, em obter uma imagem termográfica de um dos contadores de um painel elétrico energizado com condução de corrente elétrica funcionando corretamente, em seguida, com um mau contato através do afrouxamento de uma das conexões de força do contador.

A aula piloto foi realizada utilizando o método didático de elaboração conjunta, onde o painel foi exposto e a turma, em conjunto com os autores, identificou os componentes, analisou o funcionamento do circuito, realizou a análise termográfica do painel e debateu sobre ela. Ao final da aula os alunos preencheram um questionário



avaliativo sobre o conjunto didático. As questões às quais os alunos deveriam concordar ou discordar eram:

- O painel propiciou que você visualizasse, em atividade prática, os sintomas detectáveis por termografia?
- Em um processo prático, você pode afirmar que o que foi visto aqui será útil?
- A quantidade de defeitos inseridos é suficiente para um bom aprendizado?
- Você já teve alguma experiência com termografia?
- Comparando os equipamentos didáticos utilizados nas duas aulas sobre termografia, qual é o melhor?

O questionário mostrou que todos os alunos consideraram que o painel propiciou que visualizassem, em atividade prática, os sintomas detectáveis pela termografia e que, em um processo prático, o que foi visto durante a aula será útil. Além disso, todos os alunos consideraram a quantidade de defeitos inseridos (8 defeitos) suficiente para um bom aprendizado.

À exceção dos 2 estudantes que não fizeram a aula prática de termografia anterior, os 29 alunos restantes tiveram contato prévio com a termografia e consideraram o painel proposto neste trabalho como sendo um melhor recurso didático.

As sugestões feitas ao longo da aula foram ponderadas e algumas acatadas na produção de um exemplo de roteiro discente para a aula prática.

### 3.3 Roteiro para a aula prática e manual para o professor

Para direcionar o professor durante as aulas, foram criados um roteiro discente para aula prática e um manual docente do painel. O roteiro recomenda que a análise termográfica do painel seja feita primeiramente com a carga ligada em estrela e em seguida com a carga ligada em triângulo, pois, após a comutação, os defeitos se tornam mais visíveis devido ao aumento da corrente elétrica da ordem de três vezes, o que foi considerado um bom recurso didático.

No manual docente foram apresentados a localização dos defeitos, as falhas introduzidas, os sintomas esperados e os termogramas obtidos com base nas análises termográficas feitas seguindo o roteiro. Os termogramas adquiridos permitem que a análise termográfica seja feita comparando elementos semelhantes do circuito ou o padrão térmico do conjunto de manobras sem defeitos com o termograma do painel com as falhas inseridas. A Fig. 4 apresenta os termogramas de um contator feitos com a carga conectada em estrela no painel sem e com defeitos, respectivamente. Na Fig. 4a observa-se que as temperaturas nas conexões entre os cabos do circuito de força do contator, pontos Sp1 e Sp2, são próximas, não indicando falha. A comparação da temperatura dos mesmos cabos no termograma da Fig. 4b mostra uma diferença de 20,5 °C entre os pontos Sp3 e Sp4, indicando um possível defeito. Nesse condutor foi inserido um mau contato. A análise dos dois termogramas em conjunto mostra uma discrepância de 35,9 °C entre os pontos Sp2 e Sp4, esses pontos indicam a

temperatura do mesmo condutor do circuito. A partir deste dado, deduz-se a existência de um defeito nesse condutor. No manual estão descritas detalhadamente as análises termográficas de todos os termogramas do painel com e sem defeitos inseridos e com a carga ligada em estrela e em triângulo.

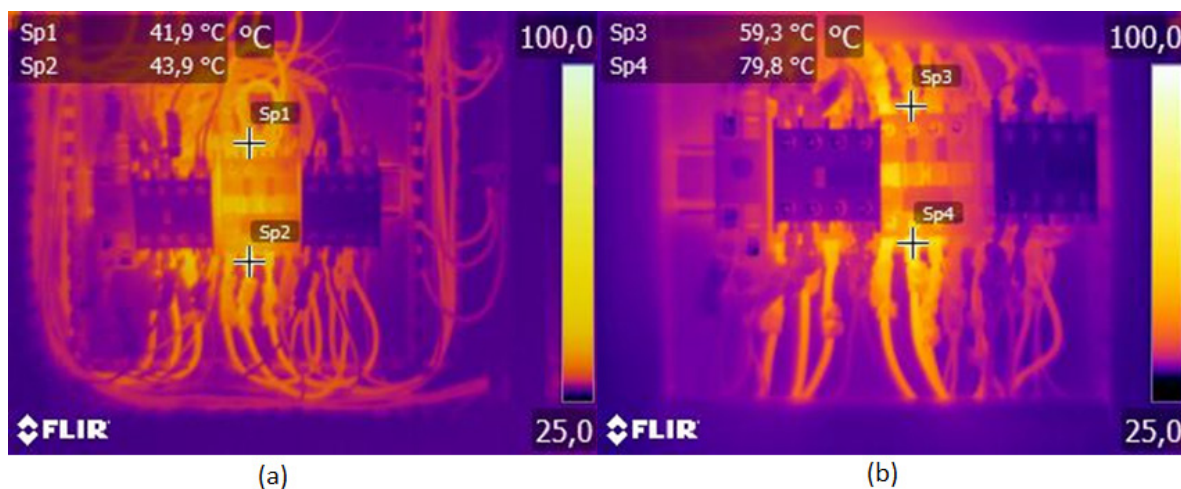


Figura 4 - (a) Termograma do contator C2 com a carga ligada em estrela e painel sem defeito. (b) Termograma do contator C2 com a carga ligada em estrela e painel mau contato.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inspeções periódicas em redes de distribuição são uma importante ferramenta das empresas do ramo de energia elétrica a fim de otimizar seus programas de manutenção, reduzindo as intervenções corretivas. Uma das alternativas para a inspeção das redes é a análise termográfica. Neste capítulo foi apresentado o desenvolvimento de um protótipo de painel elétrico para ensino-aprendizagem de inspeção termográfica aplicada à manutenção elétrica em ambiente educacional. Para isso, um conjunto de manobra com função de partida estrela-triângulo foi criado e nele foram simulados os principais defeitos elétricos detectáveis pela termografia infravermelha.

Foram inseridas no conjunto de manobra as falhas circuito em aberto, interrupção de cabos em paralelo, subdimensionamento de condutores e maus contatos. Dentre os defeitos incorporados ao painel didático somente a falha interrupção de cabos em paralelo não pôde ser identificada nas análises termográficas, mas mesmo assim se apresentou como um recurso instrucional para mostrar que os defeitos podem ser mascarados pela irradiação de calor proveniente de outros dispositivos.

A inspeção termográfica feita no conjunto de manobras também revela didaticamente que o aumento da elevação de temperatura está relacionado ao aumento de corrente elétrica no dispositivo inspecionado. Esse efeito é obtido através da inspeção termográfica com a carga em conexão estrela, e nova inspeção termográfica

com a carga em conexão triângulo, uma vez que a corrente elétrica triplica de valor após essa comutação e os defeitos se tornam mais evidentes devido ao aumento considerável de temperatura.

O painel proposto possui didaticamente falhas de toda sorte encontráveis em uma instalação elétrica real, com sintomas desde mais discretos a triviais, operável a diferentes níveis de carga. Assim, pode-se reproduzir em ambiente controlado diversas situações encontradas em instalações reais.

A avaliação do painel didático feita pelos alunos indicou que o conjunto de manobras proposto é um bom recurso didático para ensino-aprendizagem da termografia em ambiente educacional, evitando aulas práticas em instalações elétricas reais, o que poderia perturbar os processos, infringir questões de segurança e colocar a segurança dos alunos e do professor em risco. Assim, o painel proposto pode ser replicado, produzido em maior quantidade, para suprir a demanda de aula de uma turma com vários alunos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, 2008. 209 p.

ASSUNÇÃO, B. L. et al. Effectiveness of diagnostic criteria for defective electrical installations by infrared thermography (in portuguese). **Ifes Ciência**, v. 1, n. 2, p. 111–127, 2015.

AZMAT, Z.; TURNER, D. J. Infrared thermography and its role in rural utility environment. **IEEE Rural Electric Power Conference**, p. B2/1-B2/4, 2005.

BELHOT, R. A didática no ensino de engenharia. **XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, p. 1–12, 2005.

D'AVILA, R. S. **Análise de perdas em instalações elétricas residenciais**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2007.

DIB, A.; DJERMANE, A. Detection of electrical faults with infrared thermography. **Journal of New Technology and Materials**, v. 6, p. 28–32, 2016.

FLIR. **User ' s manual FLIR InfraCAM SD**. Wilsonville, USAFlir Systems, 2008. 168 p.

HUDA, A. S. N.; TAIB, S. Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment. **Applied Thermal Engineering**, v. 61, n. 2, p. 220–227, 2013.

JADIN, M. S.; TAIB, S. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. **Infrared Physics & Technology**, v. 55, n. 4, p. 236–245, jul. 2012.

JUNIOR, J. A. DE A. **Modelo para predição de indicadores de continuidade em um sistema de distribuição de energia elétrica, uma aplicação à gestão de manutenção com a perspectiva do uso da termografia**. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2016.

LOPES, F. T. F. et al. Aceleração Da Degradação Térmica Do Isolamento De Cabos Em Paralelo. **21º Congresso Brasileiro de Manutenção**, n. 1, p. 8, 2006.

MARCORIN, W. R.; LIMA, C. R. L. Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 11, n. 22, p. 35–42, 2003.

MENDES, M. A. et al. Thermographic analysis of parallelly cables: A method to avoid misdiagnosis. **Applied Thermal Engineering**, v. 104, p. 231–236, jul. 2016.

MUNIZ, P. R. **Influência dos instrumentos, do ângulo de visada e do campo de visão do termovisor na execução de termografia por infravermelhos aplicada à manutenção elétrica**. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2014.

RIVERA-REYES, P.; LAWANTO, O.; PATE, M. L. Students ' Task Interpretation and Conceptual Understanding in an Electronics Laboratory. **IEEE Transactions on Education**, v. 60, n. 4, p. 265–272, 2017.

SANTIAGO, P. M.; SOLVA, E. L. DA. Termografia aplicada em redes de distribuição. **XIV CEEL**, p. 1–7, 2016.

SCHUÍNA, L.; MUNIZ, P.; QUEMELLI, P. Development of a Method of Estimated Losses Energy in Defective Electrical Connections. **Proceedings**, v. 1, p. 9, 2016.

## SOBE OS ORGANIZADORES

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**MICHELI KUCKLA** Professora de Química na Rede Estadual do Paraná - Secretaria de Estado de Segurança do Paraná. Graduada em Licenciatura Química pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Especialista em Educação do Campo pela Faculdades Integradas do Vale do Ivaí. Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Doutoranda em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Trabalha com os temas relacionados ao Ensino de Ciência e Tecnologia e Sociedade.



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-273-9

