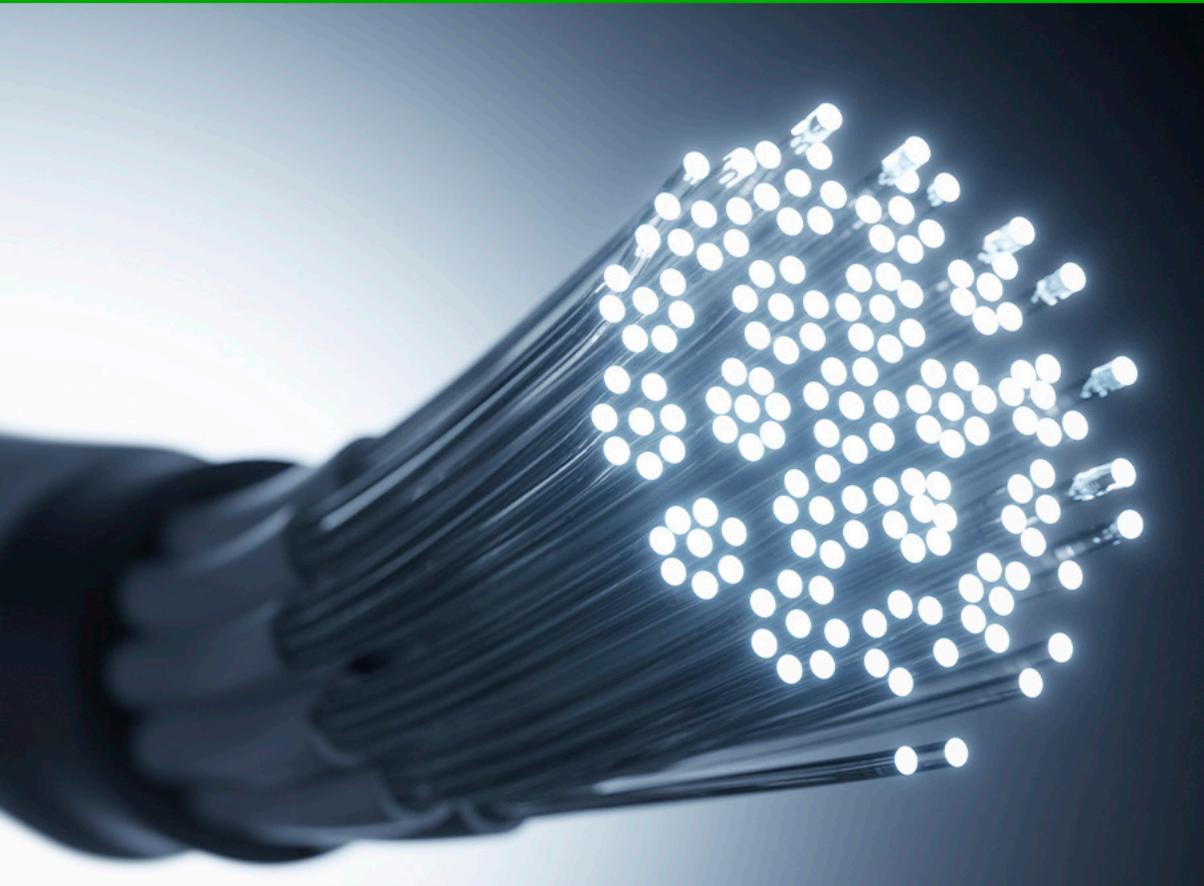


COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA 2

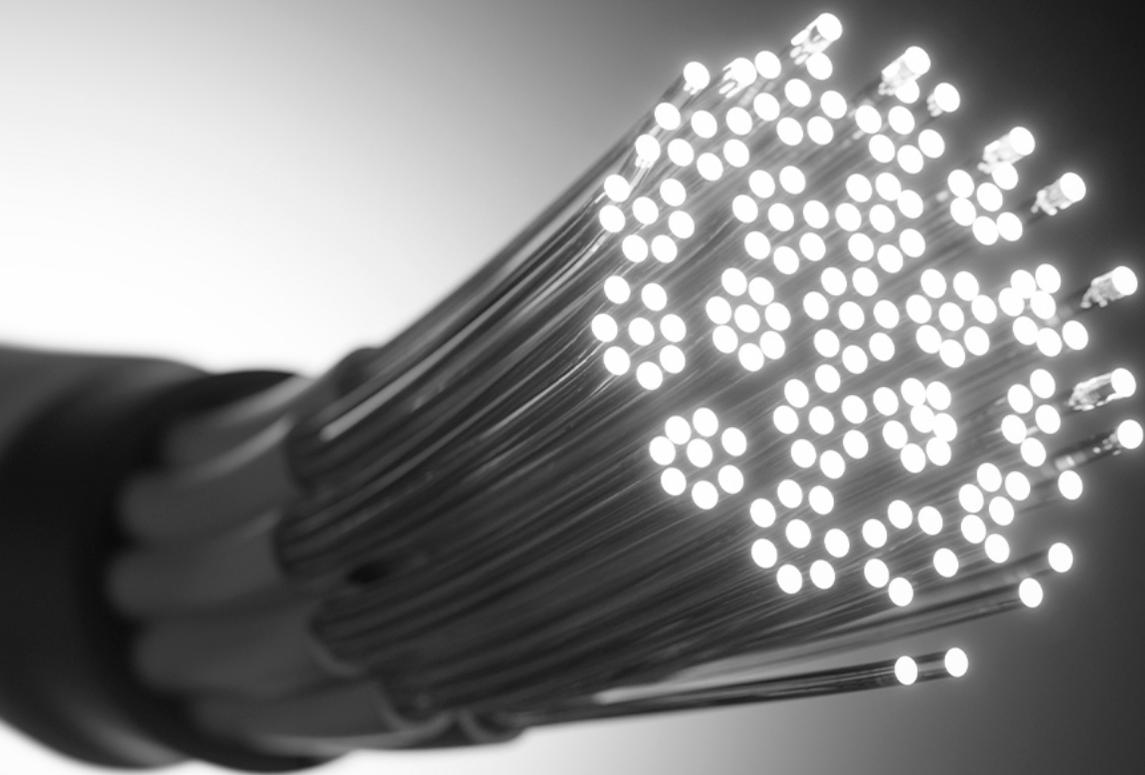


JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

  
Atena  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA ELÉTRICA 2**



JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

  
Atena  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica 2 /  
Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz  
Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-556-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.560211910>

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João  
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.  
Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

PHOTODETECTOR OPTIC POWER OPTIMIZATION TO INCREASE THE GAIN ON SUB-OCTAVE MICROWAVE PHOTONIC LINK

Naiara Tieme Mippo  
Paulo Henrique Kiohara Acyoli Bastos  
Felipe Streitenberger Ivo  
Olympio Lucchini Coutinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119101>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

OPTOELECTRONIC SENSOR APPLIED TO FLOW RATE MEASUREMENTS ON OIL AND GAS INDUSTRY

Alexandre Silva Allil  
Fabio da Silva Dutra  
Cesar Cosenza de Carvalho  
Regina Célia da Silva Barros Allil  
Marcelo Martins Werneck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119102>

### **CAPÍTULO 3..... 25**

ANÁLISE DO ENVELHECIMENTO, PRECISÃO E EXATIDÃO EM SENSORES ÓTICOS FBG E RFBG QUE MEDEM TEMPERATURAS ENTRE 5 °C E 60 °C POR 16 SEMANAS

Karoline Akemi Sato  
Camila Carvalho de Moura  
Antonio Carlos Ribeiro Filho  
Luis Camilo Jussiani Moreira  
Valmir de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119103>

### **CAPÍTULO 4..... 38**

EVALUACIÓN PARA INVERSIÓN CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIÓN CONDUCTOR Y TENSIÓN DE DISTRIBUCIÓN. APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS DEL LEY DE KELVIN

Christian Arturo Ramirez Osorio  
Enrique Buzarquis  
Rodney Damián Fariña Martínez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119104>

### **CAPÍTULO 5..... 55**

STRATEGIES OF VOLTAGE CONTROL BASED IN FUZZY LOGIC ALGORITHMS WITH ALTERNATIVE, CLEAN AND RENEWABLE GENERATION OPERATING WITH ANOTHER CONVENTIONAL ELECTRIC GENERATION IN WITH RADIAL LOADS IN POWER SYSTEMS STABILITY

Rodney Damián Fariña Martínez  
Antonio Carlos Zambroni de Souza  
Eliane Valença Nascimento de Lorenci

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119105>

**CAPÍTULO 6..... 72**

ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑICOS” DA ENERGIZAÇÃO DA LT 500KV AYOLAS-VILLA HAYES SEM REATOR DESDE A CENTRAL HIDRELÉTRICA ITAIPÚ

Elisandro Rodriguez Buzarquis  
Rodney Damián Fariña Martínez  
Antônio Carlos Zambroni de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119106>

**CAPÍTULO 7..... 86**

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO POR MEIO DE ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE COM METAMATERIAIS CONVENCIONAIS E SUPERCONDUTORES

Arthur Henrique de Lima Ferreira  
Lucas Douglas Ribeiro  
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119107>

**CAPÍTULO 8..... 96**

DEGRADAÇÃO POR POTENCIAL INDUZIDO (PID): REVISÃO

Hellen Ferreira Barreto Miranda  
Luan Peixoto da Costa  
Stefhany Oliveira Soares  
Jonathan Velasco da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119108>

**CAPÍTULO 9..... 108**

CAPACITOR BANK ALLOCATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS USING THE DISCRETE PSO ALGORITHM

Luís Henrique Chouay Dall’ Agnese  
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5602119109>

**CAPÍTULO 10..... 119**

DESIGN OF A TRANSMISSION-LINE METAMATERIAL WITH A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION AT S-BAND

Lucas Douglas Ribeiro  
Juscelino Júnior de Oliveira  
Arthur Henrique de Lima Ferreira  
Rose Mary de Souza Batalha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191010>

**CAPÍTULO 11..... 129**

RADIO PROPAGAÇÃO E MODELAGEM PARA UMA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS

## PARA LTE

Alaim de Jesus Leão Costa  
Thiago Eleuterio da Silva  
Diego Kasuo Nakata da Silva  
Leslye Estefania Castro Eras

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191011>

## **CAPÍTULO 12..... 141**

### **TESTES DE IMUNIDADE CONTRA SURTOS ELÉTRICOS EM ELETRODOMÉSTICOS**

Gustavo Oliveira Cavalcanti  
Marcílio André Félix Feitosa  
Kayro Félyx Henrique Pereira  
Manoel Henrique da Nóbrega Marinho  
Antonio Samuel Neto  
Lucas de Carvalho Sobral  
Pollyana Maria Ramos Gonçalves  
Douglas Thiago Moreira Lara  
Thiago Francisco Gomes  
Renato Jardim Teixeira  
Wagner Almeida Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191012>

## **CAPÍTULO 13..... 152**

### **AUTOMAÇÃO DA ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - O SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO DALI: UM ESTUDO DE CASO**

Marcos Noboru Kurata  
Ênio Carlos Segatto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191013>

## **CAPÍTULO 14..... 163**

### **INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E CONSTRUTIVAS NO EIXO DO ROTOR EÓLICO**

Leonardo Pavan  
Evandro André Konopatzki  
Cristiane Lionço de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191014>

## **CAPÍTULO 15..... 172**

### **VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA**

Gabriel Garcia Bastos de Almeida  
Luanna Valéria Sousa Fonseca  
Andréa Jaqueira da Silva Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56021191015>

## **SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 183**

## **ÍNDICE REMISSIVO..... 184**

# CAPÍTULO 12

## TESTES DE IMUNIDADE CONTRA SURTOS ELÉTRICOS EM ELETRODOMÉSTICOS

Data de aceite: 01/10/2021

### **Gustavo Oliveira Cavalcanti**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Marcílio André Félix Feitosa**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Kayro Félyx Henrique Pereira**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Manoel Henrique da Nóbrega Marinho**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Antonio Samuel Neto**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Lucas de Carvalho Sobral**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Pollyana Maria Ramos Gonçalves**

Escola Politécnica  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Brasil

### **Douglas Thiago Moreira Lara**

Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento  
CLAMPER Indústria e Comércio S.A  
Lagoa Santa, Brasil

### **Thiago Francisco Gomes**

Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento  
CLAMPER Indústria e Comércio S.A  
Lagoa Santa, Brasil

### **Renato Jardim Teixeira**

### **Wagner Almeida Barbosa**

Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento  
CLAMPER Indústria e Comércio S.A  
Lagoa Santa, Brasil

**RESUMO** - O presente trabalho descreve um conjunto de testes de compatibilidade eletromagnética, realizados para avaliar a imunidade a surtos elétricos de alta tensão em dois tipos de eletrodomésticos: televisor e refrigerador. Os testes foram realizados em condições específicas definidas pelo padrão internacional IEC 61000-4-5 de 2015. Os resultados mostraram que o televisor suporta maiores níveis de tensão e número de surtos que o refrigerador, entretanto, considerando que os surtos elétricos induzidos por descargas atmosféricas podem atingir níveis da ordem de 8kV o uso de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) é indicado. Os resultados mostram ainda que a utilização do DPS pode ser imprescindível para manter a vida útil do equipamento em regiões com grande incidência de descargas atmosféricas.

**PALAVRAS-CHAVE** - Surtos elétricos, proteção contra surtos, refrigerador, televisor e vida útil.

## ELECTRICAL SURGE IMMUNITY TESTS IN HOME APPLIANCES

**ABSTRACT** - This paper describes a set of electromagnetic compatibility tests, carried out to evaluate immunity to high voltage electrical surges, in two types of home appliances: television and refrigerator. Tests were performed under specific conditions defined by the international standard IEC 61000-4-5 of 2015. The results showed that the TVs supports higher voltage levels and more surges than the refrigerator. However, considering that electrical surges induced by lightning discharges can be as high as 8kV, the use of surge protection devices (SPDs) is indicated. Results also shows that the use of SPDs can be essential to maximize useful life of equipment in regions with high incidence of atmospheric discharges.

**KEYWORDS** - Surges, lightning protection, refrigerators, television and useful life.

### 1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico propiciou o aumento do número de eletrodomésticos nas residências, sendo os mais comuns o fogão, a geladeira e a televisão que estão em quase todos os lares brasileiros - 98,8%, 97,6% e 97,1%, respectivamente [1]. Segundo a Norma Internacional IEC 62305-2 de 2006 [2], os surtos na rede elétrica ocorrem quando a carga elétrica é elevada em algum ponto da rede. O surto pode aumentar a corrente que flui na instalação e danificar equipamentos elétricos ligados à rede. Diversos eventos podem produzir um surto, sendo a descarga atmosférica um dos principais [3].

A utilização de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) nas instalações elétricas propicia vários benefícios aos equipamentos a eles conectados, não só na infraestrutura industrial e comercial, mas também no ambiente residencial, na proteção de eletrodomésticos [4]. A proteção oferecida pelos DPSs pode prevenir não só a inutilização definitiva e instantânea de um equipamento na ocorrência de surtos de alta intensidade, quanto prolongar sua vida útil nos casos de surtos de menor intensidade, porém, com maior frequência de incidência, que degradam os componentes gradativamente, causando perda de eficiência do equipamento até sua completa inutilização.

Segundo a NBR-5410 [5] toda linha externa de sinal deve ser provida de proteção contra sobretensões transitórias, seja a instalação de telefone, de comunicação de dados, de vídeo ou qualquer outro sinal eletrônico. O impacto que a utilização do DPS gera na manutenção da vida útil dos equipamentos é uma informação importante para determinar a sua eficiência e, sobretudo, justificar o custo da sua aplicação nas instalações elétricas dos vários tipos de infraestrutura. Dessa forma, o presente trabalho apresenta testes de compatibilidade eletromagnética que mostram como o DPS pode ser empregado na manutenção da vida útil de televisores e refrigeradores.

## 2 | APARATO EXPERIMENTAL

Nos sistemas de distribuição de baixa tensão as descargas atmosféricas podem causar danos aos dispositivos elétricos, porém, apenas 10% desses danos são causados por descargas diretas. Os 90% restantes são provocados por tesões induzidas [6]. Segundo Silva [7], uma descarga atmosférica no primário de um transformador de distribuição (13.8kV – 220/127 V, 30kVA) gera uma tensão induzida no secundário que pode chegar a 8kV. Além disso, raios adjacentes podem induzir, por acoplamento, tensões transitórias na linha, as quais serão transferidas para os dispositivos que estiverem conectados a esta linha [8 – 9]. O DPS é utilizado para limitar a tensão transitória que atingiria os equipamentos a um nível mais baixo, atuando em um tempo muito curto e protegendo os equipamentos conectados ao circuito [10].

No Brasil os equipamentos eletrodomésticos são normatizados pela NBR 5410 [5]. Essa norma estabelece uma tensão impulsiva mínima de 1,5 kV que os eletrodomésticos devem ser capazes de suportar sem apresentar falhas. Porém, segundo o Institute of Electrical and Electronic Engineers – Surge Protective Committee (IEEE - SPDC), a tensão na entrada de uma edificação fica limitada em 6 kV [11], que é superior à proteção exigida pela NBR 5410 e pode levar a uma falha nos eletrodomésticos. Nesse contexto, o presente trabalho descreve a realização de testes de compatibilidade eletromagnética regidos pela Norma IEC 61000-4-5 de 2015 [12] em um modelo de televisor e um de refrigerador. Segundo esta norma, os testes devem ser realizados sob a configuração apresentada na Figura 1.

O gerador de onda combinada produz os surtos elétricos padronizados que são injetados nos conectores Neutro e Fase de uma rede elétrica de testes com o auxílio da rede de acoplamento, conforme ilustrado na Figura1. O gerador utiliza um aterramento exclusivo, através do qual ele descarrega o surto que retorna do circuito de teste. A rede de desacoplamento, ilustrada na Figura 1, é utilizada para evitar que o surto injetado passe para as instalações elétricas locais e provoque danos em outros equipamentos que não fazem parte do teste.

Uma tomada de 10 A é utilizada na saída da rede de acoplamento para que o equipamento sob teste esteja em condições reais de uso. A seguir descreve-se o gerador de onda combinada, a rede de acoplamento e desacoplamento utilizados nos experimentos bem como uma estimativa do impacto do uso do DPS na vida útil dos equipamentos.

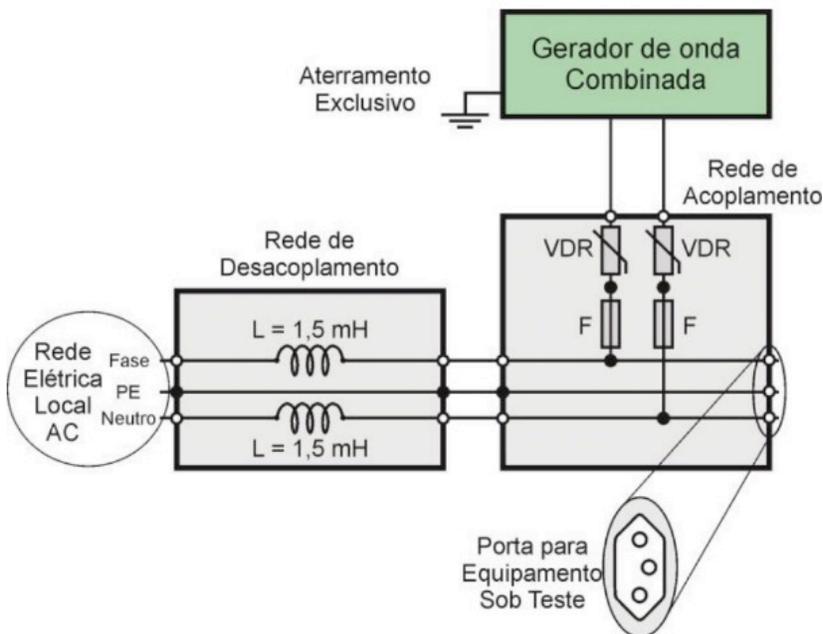


Fig 1 - Configuração das conexões do equipamento sobre teste para os testes de compatibilidade.

Fonte: Elaborada pelo autor.

### a. Gerador de Onda Combinada

O gerador de onda combinada produz surtos elétricos com forma de onda padronizada pela IEC 61000-4-5 [12] e parâmetros específicos como tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito. A Figura 2 apresenta a forma de onda da tensão normalizada, na saída do gerador, quando em circuito aberto, atendendo às exigências da IEC 61000-4-5. Essa tensão de saída foi aplicada às cargas durante os experimentos. Dois tipos de geradores de ondas combinadas são especificados em função do tempo de subida ( $T_s$ ) e tempo de duração ( $T_D$ ), ilustrados na Figura 2. Para a onda de tensão esses geradores são definidos por:  $10/700 \mu\text{s}$  ( $T_s = 10 \mu\text{s}$  e  $T_D = 700 \mu\text{s}$ ) e  $1,2/50 \mu\text{s}$ . Cada um tem suas aplicações específicas dependendo do tipo de porta a ser testada.

O gerador de ondas combinadas de  $10/700 \mu\text{s}$  é usado para testar portas de comunicação simétricas que se destinam a ser diretamente conectadas a redes de telecomunicações externas. O gerador de ondas combinadas de  $1,2 / 50 \mu\text{s}$  é usado em todos os outros casos e é exatamente o gerador aplicado para testar os eletrodomésticos neste trabalho. Esse gerador tem uma resistência interna de  $2 \Omega$  e os parâmetros das formas de onda na saída (de tensão em circuito aberto exibida na Figura 2 e da corrente em curto-circuito, que pode ser encontrada na norma) estão apresentados na Tabela 1.

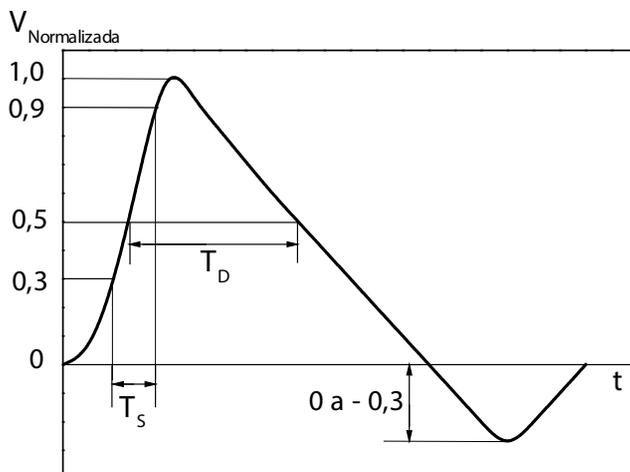


Fig. 2. Forma de onda da tensão normalizada aplicada aos equipamentos.

Fonte: Adaptada da Norma IEC 61000-4-5 [12].

	Tempo de Subida (TS) $\mu$ s	Tempo de Duração (TD) $\mu$ s
Tensão em Circuito Aberto	TS = $1,2 \pm 30\%$	TD = $50 \pm 20\%$
Corrente de Curto Circuito	TS = $8 \pm 20\%$	TD = $20 \pm 20\%$

TABELA I. Parâmetros da forma de Onda do Gerador 1,2/50 [12].

## b. Rede de Acoplamento

A rede de acoplamento é responsável por permitir a inserção do surto de tensão proveniente do gerador na rede elétrica do equipamento sob teste, conforme ilustrado na Figura 1, e impedir que a tensão da rede local entre no gerador. O circuito da rede de acoplamento é um varistor, que permite a passagem do surto de alta tensão e impede a passagem da tensão da rede local para o gerador, em série com um fusível térmico, que em caso de falha do varistor desconecta o gerador da rede de testes. A saída da caixa de acoplamento é uma tomada de 10A padrão, na qual os equipamentos sob teste são conectados e recebem a alimentação para operação junto com o surto elétrico na tensão de testes definida no gerador.

## c. Rede de Desacoplamento

A rede de desacoplamento permite a conexão do equipamento sob teste à rede elétrica local, que no laboratório é de  $220V_{AC}$  - 60Hz, e impede a passagem do surto injetado no circuito pelo gerador para a rede local. A rede de desacoplamento é formada por duas bobinas de indutância 1,5 mH, como definido pela norma IEC 61000-4-5 [12]. As bobinas foram colocadas dentro de uma caixa de proteção conforme ilustrado na Figura 3.

Um transformador de corrente foi instalado no condutor fase para medição da corrente e confirmação de que o surto elétrico injetado pelo gerador não atinge a rede elétrica local.

### 3 | RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES

O aparato experimental apresentado na Figura 1 foi montado no Instituto de Inovação Tecnológica da Universidade de Pernambuco IIT/UPE e um televisor e uma geladeira foram submetidos a surtos elétricos de alta tensão para avaliar a necessidade de utilização do DPS para proteção desses equipamentos. Também foram utilizados nos experimentos DPSs Classe III [13], aplicados em série à entrada de potência do equipamento sob teste.

Os ensaios foram realizados sob duas hipóteses de resultados: quantidade de surtos/pulsos até ocorrer a falha do equipamento ou não falhar. Ocorrendo a falha, a quantidade total de pulsos aplicados até então é registrada e, quando o aparelho não falhou, foi registrado 700 que é o número máximo de surtos ao qual cada equipamento poderia ser submetido. O tempo entre surtos aplicados pelo gerador é de 30 segundos e, para que o teste em um único equipamento fosse realizado em um dia, definiu-se que o número máximo de surtos seria de 700, que corresponde a aproximadamente 6 horas. As marcas e modelos dos equipamentos não serão mencionados, mas são equipamentos amplamente comercializados no Brasil.

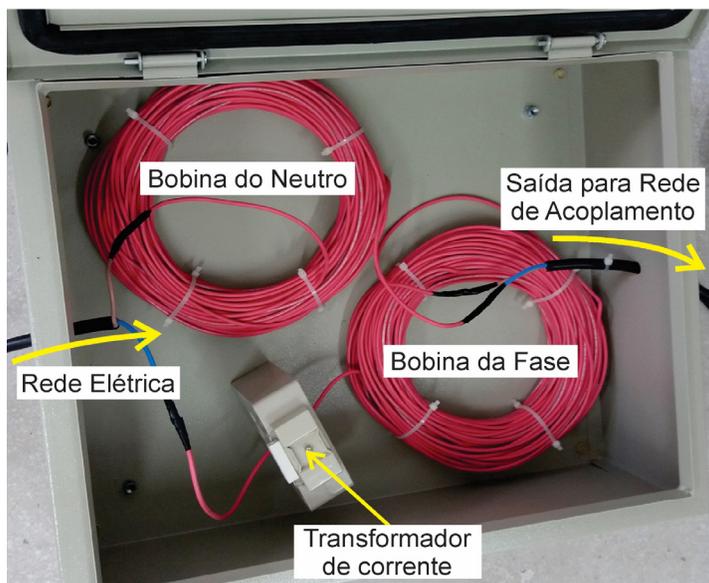


Fig. 3. Fotografia do circuito da rede de desacoplamento.

Fonte: Fotografia do autor.

#### a. Experimentos com Televisor

Um televisor com fonte de alimentação externa foi adquirido e submetido a surtos

elétricos de até 6kV. A Tabela II apresenta os resultados dos testes com esse equipamento. Observa-se que o televisor não apresentou falhas, mesmo sem a utilização dos DPSs Classe III na sua proteção, para surtos de até 6kV. Esse resultado mostra que para surtos até esse nível de tensão o televisor escolhido não precisa da proteção de um DPS.

Televisor sem DPS		
4 kV	5 kV	6 kV
700 (S)	700 (S)	700 (S)

S = Não ocorreu Falha no Equipamento.

TABELA II. Dados Experimentais com o Televisor

Entretanto, os surtos induzidos no secundário de um transformador podem chegar a 8kV [7], o que não foi testado pois o gerador disponível não atingia esse nível de tensão.

Os resultados motivaram a abertura da fonte de alimentação do televisor para constatar se o equipamento possui proteção interna específica. A Figura 4 apresenta uma fotografia da fonte de alimentação do televisor, na qual destaca-se o varistor responsável pela proteção desse dispositivo. Assim, ficou constatado que o circuito interno de proteção do modelo de televisor escolhido possui proteção eficiente contra os níveis e quantidade de surtos aplicados neste trabalho. Vale salientar que apesar do modelo possuir proteção interna o uso do DPS seria recomendado, uma vez que evitaria que o televisor recebesse os surtos diretamente e garantiria um tempo de vida ainda maior para o equipamento.

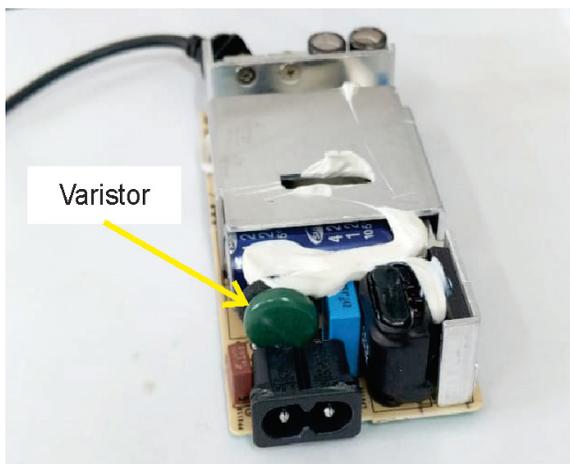


Fig. 4. Fotografia da fonte de alimentação do televisor utilizado nos testes.

Fonte: Fotografia do autor.

## b. Experimentos com Refrigerador

Foram realizados dezoito (18) experimentos com um refrigerador comercial sendo nove com o refrigerador conectado diretamente ao circuito gerador de surtos e nove com o equipamento protegido por um DPS comercializado no Brasil. Por se tratar de um equipamento de custo elevado os experimentos foram realizados com um único refrigerador e as falhas apresentadas eram corrigidas pela equipe da UPE antes da próxima sequência de testes. A falha mais comumente apresentada foi a queima de um capacitor na placa de potência, apresentada na Figura 5. Essa placa foi substituída por uma nova em todos os testes. Realizava-se uma bateria de testes até a falha do refrigerador e, na sequência, as peças que apresentavam falha eram substituídas e o equipamento ficava em observação. Após comprovação de que o equipamento funcionava corretamente uma nova bateria de testes era realizada. Os resultados são apresentados na Tabela III.

<b>Refrigerador sem DPS</b>			
<b>Teste</b>	<b>3 kV</b>	<b>4 kV</b>	<b>5 kV</b>
<b>1°</b>	700 (S)	114 (FE)	1 (FE)
<b>2°</b>	700 (S)	225 (FE)	1 (FE)
<b>3°</b>	700 (S)	700 (S)	1 (FE)
<b>Refrigerador com DPS</b>			
<b>Teste</b>	<b>5 kV</b>	<b>6 kV</b>	<b>7 kV</b>
<b>1°</b>	700 (S)	160 (FD)	74 (FD)
<b>2°</b>	700 (S)	104 (FD)	55 (FD)
<b>3°</b>	700 (S)	256 (FD)	53 (FD)

FE = Ocorreu Falha no Equipamento / FD = Ocorreu Falha no DPS / S = Não ocorreu Falha no Equipamento nem no DPS.

TABELA III. Dados Experimentais com o Refrigerador.

Os resultados experimentais apresentados na Tabela III mostram a importância do uso do DPS no modelo de refrigerador escolhido, uma vez que um único surto de 5kV produz falha no equipamento. Com a proteção do DPS o conjunto suportou em média 60 surtos de 7kV. Vale salientar, que a falha apresentada foi apenas no DPS, ou seja, a placa de potência e todas as funcionalidades do refrigerador foram mantidos mesmo após o DPS apresentar falha com surtos de 7kV. Esses resultados mostram que o uso do DPS pode garantir que o equipamento não apresente falha precoce em decorrência de surtos elétricos de alta tensão.



Fig. 5. Fotografia do componente que falhou na placa de potência do refrigerador após surto elétrico.  
Fonte: Fotografia do autor.

### c. Análise sobre a Vida Útil dos Equipamentos

O estado brasileiro com a maior densidade de raios em 2019 foi Tocantins, com 19,8 raios por km<sup>2</sup> por ano [14]. Com os experimentos realizados foram determinados o número de surtos que cada equipamento pode suportar. Dessa forma, determinando o número de surtos que pode atingir uma residência, obtém-se o tempo de vida do equipamento considerando que a única falha possível seja devido a surtos provocados por descargas atmosféricas.

Um surto elétrico pode atingir um equipamento em uso na residência quando uma descarga atmosférica incide: a) na estrutura ou em uma área próxima à estrutura num raio de 500 m [15]; b) na linha externa de alimentação ou em uma área próxima a ela. A área considerada como próxima à linha consiste num comprimento de 1km de linha e distante até 2 km da linha (para um lado ou para o outro) [15], conforme ilustrado na Figura 6. Desconsiderando a sobreposição entre as duas áreas, a área total de influência de uma descarga na edificação é de 4,39 km<sup>2</sup>. Assim, no estado de Tocantins, uma residência estaria sujeita a aproximadamente 87 raios por ano. Diante do exposto, os resultados com o refrigerador mostram que o equipamento poderia apresentar falha logo no início de uso sem a proteção do DPS uma vez que ele falhou com apenas um surto de 5kV. Com o DPS o conjunto suportou os 700 surtos (podendo suportar mais já que 700 foi o limite de pulsos aplicados no teste), considerando 85 surtos por ano isso corresponde a aproximadamente 8 anos.

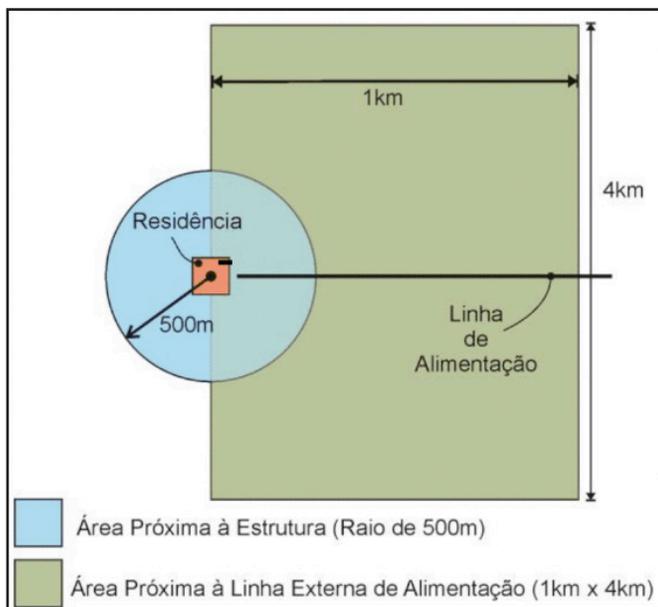


Fig 6 - Área de influência de uma descarga atmosférica na edificação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4 | CONCLUSÕES

O presente trabalho mostra como os testes de compatibilidade eletromagnética, em especial os de imunidade contra surtos elétricos de alta tensão possuem relevância na determinação da qualidade dos produtos produzidos no país e na comprovação da necessidade do uso de DPSs para proteção de equipamentos instalados nas regiões de incidência de descargas atmosféricas. Os resultados experimentais comprovam a necessidade de utilização do DPS nessas regiões e mostram que seu uso pode evitar a falha em um equipamento como um refrigerador logo no início de sua vida útil. Vale salientar que nos testes realizados nenhum equipamento apresentou falha quando utilizado em conjunto com o DPS. A análise sobre a vida útil do equipamento, apresentada neste trabalho, mostra um resultado importante no tocante ao cálculo do número de surtos que podem ser produzidos pela ocorrência de descargas atmosféricas. Esse resultado é relevante para o aprimoramento de circuitos de proteção das edificações, dos eletrodomésticos e dos DPSs.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CLAMPER Indústria e Comércio S.A pelo suporte técnico e financeiro na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. AMORIM, D.; Pennafort, R. e Neder V. “Máquina de lavar é objeto de desejo das famílias brasileiras, diz IBGE”. 2015, Disponível em: <https://goo.gl/6mgUXp>, Acesso em:17 de janeiro de 2018.
2. IEC – Internacional Electrotechnical Commission – IEC 62305-2 - Protection against lightning - Part 2: Risk management. Genebra, 2006.171.p.
3. KIDERMANN, G. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. São Paulo: ABDR Editora, 1997.132.p.
4. J. O. S. Paulino, C. F. Barbosa, R. K. Moreira, W. A. Barbosa, M. A. F. Lobo, A. R. Lobo, “Proteção de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos contra Surtos Elétricos em Instalações”, 1. Ed. Lagoa Santa – MG, Editora Clamper, 2016.
5. ABNT, NBR 5410, “Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, versão corrigida, Março 2008.
6. Y. Zhang, S. Chen, X. Yan, W. Lv and C. Chen, “Observation and analysis of residual voltage of SPD connecting to overhead line,” 2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC), Taipei, 2015, pp. 360-363.
7. Silva Neto, A. ; Piantini, A. “Sobretensões Induzidas por Descargas Atmosféricas em Redes Secundárias.” In: VII Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica (VII SBQEE), 2007, Santos. VII Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica (VII SBQEE), 2007. v. único. p. 1-6.
8. F. J. Mo, J. J. Ruan and Y. P. Chen, “Surge Suppression and Electromagnetic Compatibility”, Power System Technology, Vol.28, No.5, pp:69-72, Mar.2004.
9. Y.Yang, R. Cheng, J. Shen, et al. “Method for online outdoor electrical equipment lightning warning based on grey relation analysis.” Electric Power, 45: 20-23, 2012.
10. V. Milardić, I. Uglesic and I. Pavić, “Selection of Surge Protective Devices for Low-Voltage Systems Connected to Overhead Line,” in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 3, pp. 1530-1537, July 2010.
11. IEEE Std. C62.41 (IEEE 587) – “Recommended Practice on Characterization of Surge in Low-Voltage (1000V and less) AC Power Circuit”, PES SPDC, New York, 2002.
12. Norma IEC 61000-4-5:2015, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test”, Edition 3.0, 2014.
13. Norma IEC 61643-11:2011, “Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods”, 2011.
14. Folha de S.Paulo, Tocantins é Estado campeão em raios; em SP, São Caetano lidera ranking. Disponível em: <[encurtador.com.br/ghpBQ](http://encurtador.com.br/ghpBQ)> Acesso em 02 de maio de 2019.
15. ABNT, NBR 5419-2, “Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco”, Junho 2015.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acoplamento magnético ressonante forte 84

Automação de iluminação 150

### C

Cálculo de perdas de energia 39

Composto direito/esquerdo (CRLH) 117

Controle da iluminação 150

Correlação-cruzada 15

Custos anuais de construção de linhas de distribuição 39

### D

Detecção 94, 154

Durabilidade de rede de Bragg 25

### E

Eficiência energética 7, 150, 151, 153, 160

Encapsulamento 25, 27, 29, 30, 31, 32, 35

Energia eólica 161, 162, 168

Enlace analógico a fibra óptica 1, 13

Enlace fotônico sob baixa polarização 1

Estruturas periódicas 117

### F

FBG 5, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37

Fotovoltaico 7, 94, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180

Fuzzy Logic 5, 54, 55, 65, 68

### I

Índice de refração negativo 117

Inteligência artificial 55

### L

Lei de Kelvin 38, 39

LTE 7, 118, 125, 127, 128, 129, 136, 137

## **M**

Metamateriais 6, 84, 117

## **N**

Neuro-Fuzzy 127, 129, 130, 133, 134, 136, 137

## **O**

Otimização estática 39

## **P**

Perda de propagação 127, 128, 136

Permeabilidade negativa 117

Permissividade negativa 117

PID 6, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Planejamento de potência reativa 106

Proteção contra surtos 139, 140

## **R**

Rádio propagação sobre pontes 127

Rede de fibra de Bragg (FBG) 15

Refrigerador 139, 140, 141, 146, 147, 148

Reversão 94

Revisão literária 94

RFBG 5, 25, 26, 27, 28, 31, 32

RF em fotônica 1

Rotação 161, 162, 164, 166, 167, 168, 169

## **S**

Sensor à fibra óptica 15

Sistema DALI 150, 154, 155

Sistemas de alívio 15

Sistemas de distribuição 106, 115, 141

Sistemas de potência 106

Supercondutividade 84

Surtos elétricos 7, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 149

## **T**

Televisor 139, 140, 141, 144, 145

Transmissão de energia sem fio 6, 84

## **V**

Vazão 14, 15

Velocidade do vento 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168

Vida útil 47, 139, 140, 141, 147, 148, 170

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA ELÉTRICA 2

- 
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  @atenaeditora
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA ELÉTRICA 2

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)