

JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

---

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

---

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**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

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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-Não-Derivativos 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
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  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
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:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann.

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

C697 Collection: applied electrical engineering / Organizadores  
João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta  
Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-858-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.585222801>

1. Electrical engineering. 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**

#### **A MODEL BASED DESIGN APPROACH FOR KNOCK CONTROL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING MACHINE LEARNING**

Eduardo Vieira Falcão

Vinicius Mafra Melo

Péricles Rezende Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228011>

### **CAPÍTULO 2..... 15**

#### **DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR DIMENSIONING AND ANALYZING THE ECONOMIC FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**


David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas


Rodrigo Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228012>

### **CAPÍTULO 3..... 21**

#### **OTIMIZAÇÃO DE OPERAÇÕES MODULARES ATRAVÉS DO USO DE PSEUDO-MÓDULOS**

Augusto Cezar Boldori Vassoler

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228013>


### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA USANDO SIMULAÇÃO MATEMÁTICA E TESTES EXPERIMENTAIS**

Eduardo G. Silva

Alexandre S. Caporali

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228014>

### **CAPÍTULO 5..... 49**

#### **MAPAS COGNITIVOS FUZZY DINÂMICOS ADAPTATIVOS APLICADOS EM PROCESSO INDUSTRIAL**

Márcio Mendonça

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

Lucas Botoni de Souza

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Carlos Alberto Paschoalino


Michele Eliza Casagrande Rocha

Vicente de Lima Gongora

Ricardo Breganon

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Emanuel Ignacio García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228015>


**CAPÍTULO 6..... 61**

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO SOBRE FILTROS PROBABILÍSTICOS EMPREGADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO EM ROBÓTICA MÓVEL

José Lucas Araújo dos Santos

Luciano Buonocore

Luiz Eugênio Santos Araújo Filho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228016>

**CAPÍTULO 7..... 74**

EFFECTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA ESPAÑOLA

Paula Romo Santos

Begoña Lapeña Barrio


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228017>

**CAPÍTULO 8..... 90**

INSTALAÇÃO DE MEDIÇÃO NOS ALIMENTADORES DAS SUBESTAÇÕES

Adalberto Leandro da Silva


Fabio Coelho de Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228018>

**CAPÍTULO 9..... 106**

PROJETO DE OUVIDORIA DA DISTRIBUIÇÃO DA EDP SÃO PAULO – ANÁLISE DE DEMANDA DE MAIOR IMPACTO

Márcia Lúcia Lopes de Souza Jesus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228019>

**CAPÍTULO 10..... 114**

DIAGNÓSTICO, CRESCIMENTO E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM FAVELAS

Márcio Mendonça

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Wagner Fontes Godoy

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Carlos Alberto Paschoalino


Francisco de Assis Scannavino Junior

Vicente de Lima Gongora

Lucas Botoni de Souza

Michele Eliza Casagrande Rocha


José Augusto Fabri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280110>

**CAPÍTULO 11..... 127**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DA CIDADE DE PORTO VELHO - RO**


Angelina Lidiane Moura Cunha  
Felipe Alexandre Souza da Silva  
Antonio Carlos Duarte Ricciotti  
Viviane Barrozo da Silva  
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280111>

**CAPÍTULO 12..... 140**

**O DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM PALMAS - TO: ANÁLISE EM FUNÇÃO DO PONTO CARDEAL E VARIAÇÃO ANGULAR DAS PLACAS**


Aline Silva Magalhães  
Jabson da Cunha Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280112>

**CAPÍTULO 13..... 153**

**SIMULADOR DE CARGA UTILIZANDO MECANISMO DE FRENAGEM ELETROMAGNÉTICA PARA ENSAIOS DE COMPORTAMENTO DE MÁQUINAS ASSÍNCRONAS**


Murilo Meneghetti Caramori  
Alexandre Dalla Rosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280113>

**CAPÍTULO 14..... 184**

**PROPOSTA DE GEOMETRIAS DE NÚCLEOS USADOS EM ACOPLAMENTOS DE SISTEMAS ATRAVÉS DO FLUXO MAGNÉTICO**

Lucas Lapolli Brighenti  
Walbermark Marques Dos Santos  
Denizar Cruz Martins


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280114>

**CAPÍTULO 15..... 198**

**DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA DE ESTIRENO-BUTADIENO (SBR) PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO**

Harison Franca do Santos  
Arthur Pimentel de Carvalho  
Carlos Toshiyuki Hiranobe  
Eduardo Roque Budenberg  
Gabriel Deltrejo Ribeiro  
Giovanni Barrera Torres  
Jose Francisco Resende  
Leonardo Lataro Paim  
Leandra Oliveira Salmazo  
Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280115>

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>210</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>211</b>

## ANÁLISE COMPARATIVA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DA CIDADE DE PORTO VELHO - RO

*Data de aceite: 10/01/2022*

### **Angelina Lidiane Moura Cunha**

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
- UNIR  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/1438396502405730>

### **Felipe Alexandre Souza da Silva**

Tribunal de Contas do Estado de Rondônia –  
TCE/RO  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/6495189325235413>

### **Antonio Carlos Duarte Ricciotti**

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
- UNIR  
Porto Velho – RO  
<https://orcid.org/0000-0002-4986-6601>  
<http://lattes.cnpq.br/9613876404612535>

### **Viviane Barrozo da Silva**

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
- UNIR  
Porto Velho – RO  
<https://orcid.org/0000-0002-1948-1532>  
<http://lattes.cnpq.br/9428968456380501>

### **Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira**

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
- UNIR  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/2255311473963948>

**RESUMO:** As mudanças climáticas associadas as emissões de gases do efeito estufa por queima de combustíveis, tem gerado uma intensificação dos

fenômenos meteorológicos como as tempestades e em consequência as descargas atmosféricas, especialmente nas metrópoles, onde existem as ilhas de calor. Estudos indicam que as ilhas de calor por ocorrerem nas grandes cidades e causarem uma elevação da umidade para a formação das nuvens de tempestades, tem-se tornado mais intensas ano após ano. O Brasil é um dos países com uma das maiores incidências de raios do mundo, sabendo disso, constata-se que este é um quadro preocupante e em algumas cidades é alarmante em dadas épocas do ano, as proteções contra este fenômeno são o campo de estudo de muitas pesquisas para o Grupo de Eletricidade Atmosféricas (ELAT), que integra o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As proteções necessárias para tornar uma edificação segura contra descargas atmosféricas devem seguir os procedimentos de instalação em que todos os elementos que compõem o dado sistema deve estar efetivamente projetados para que a edificação de análise esteja protegida contra danos de qualquer natureza elétrica causados por uma descarga atmosférica. Levando em conta as medidas de proteções necessárias para diminuir os riscos e danos causados pelas descargas atmosféricas, tem-se a seguir o estudo de um desses sistemas em fase de instalação em uma edificação na cidade de Porto Velho, em que se é possível analisar a pluralidade dos parâmetros da maioria das construções no entorno da área de estudo. O estudo de caso é comparativo com um projeto elaborado para o mesmo propósito, que considera as diretrizes da normativa responsabilizada para tal fim, bem como o projeto de análise, porém

com visões diferenciadas de cada projetista no que se associa a sua implantação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Descargas atmosféricas, Sistemas de Proteções Contra Descargas Atmosféricas.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF AN ATMOSPHERIC DISCHARGE PROTECTION SYSTEM IN A BUILDING IN THE CITY OF PORTO VELHO - RO

**ABSTRACT:** Climate change associated with emissions of greenhouse gases by burning fuels, has generated an intensification of meteorological phenomena such as storms and, as a result, atmospheric discharges, especially in metropolises, where there are heat islands. Studies indicate that heat islands, because they occur in large cities and cause an increase in humidity for the formation of storm clouds, have become more intense year after year. Brazil is one of the countries with one of the highest lightning incidences in the world, knowing that this is a worrying picture and in some cities it is alarming in certain times of the year, the protections against this phenomenon are the study field of many researches for the Atmospheric Electricity Group (ELAT), which integrates the National Institute for Space Research (INPE). The protections needed to make a building safe against lightning discharges must follow installation procedures in which all the elements that make up the given system must be effectively designed so that the building under analysis is protected against damage of any electrical nature caused by a lightning discharge. Taking into account the necessary protection measures to reduce the risks and damage caused by lightning discharges, the following is a study of one of these systems being installed in a building in the city of Porto Velho. The case study is comparative with a project prepared for the same purpose, which considers the guidelines of the normative responsible for this purpose, as well as the analysis project, but with different visions of each designer in what is associated with its implementation.

**KEYWORDS:** Lightning Strikes, Lightning Protection Systems.

## 1 | INTRODUÇÃO

Considerando que as mudanças climáticas causadas pelo homem, associadas ao aumento das emissões de gases do efeito estufa por queima de combustíveis fósseis, queimadas, desmatamentos, etc, que traz consigo a formação das ilhas de calor, fenômeno que associa diferentes condicionantes derivados das ações humanas sobre o ambiente urbano, ou seja, nas grandes cidades, tem causado um aumento da temperatura e em consequência uma intensificação dos fenômenos meteorológicos, em especial as tempestades elétricas, assim a necessidade do aprimoramento nas medidas de proteção contra descargas atmosféricas é uma demanda que requer atenção no país.

Neste sentido, apresenta-se nesse estudo uma análise comparativa entre projetos de proteção contra descargas atmosféricas para a mesma edificação, um deles em fase de instalação, com o intuito de averiguar a eficiência dos métodos adotados a critério da normativa correspondente para esse fim e as dificuldades encontradas na execução do projeto tendo em vista as incompatibilidades e interferências da edificação de análise,

bem como os métodos utilizados em cada projeto para garantir a eficiência das proteções exigidas.

## **2 | INCIDÊNCIA DE TEMPESTADES ELÉTRICAS EM FUNÇÃO DA POLUIÇÃO E URBANIZAÇÃO**

Segundo ECO (2021), o Brasil é um dos países com a maior incidência de raios do mundo, com mais de 75 milhões por ano. Esse levantamento é inédito do INPE que mostra que existe uma relação entre as emissões de gases do efeito estufa e o maior número de descargas elétricas nas grandes capitais do país.

ECO (2021) reforça que as razões para a ocorrência de tantos raios são conhecidas pelos cientistas, sendo algumas delas a questão das regiões tropicais serem as mais quentes e favorecem a formação de tempestades, além da urbanização acelerada e aumento da temperatura média no planeta.

Para Garcia (2013), o primeiro fator a contribuir para a alta incidência de raios nas cidades é a substituição de cobertura vegetal por asfalto e concreto, que cria uma ilha de calor no perímetro urbano, isso torna a cidade de 3°C a 5°C mais quente. A poluição alimenta o problema, pois partículas de fuligem e subprodutos da queima de combustíveis servem como “núcleos de condensação”, pontos a partir dos quais as moléculas se agregam e formam gotículas.

A influência da urbanização na eletricidade atmosférica tem um impacto econômico e social perceptível, mas difícil de calcular em escala regional. No Brasil todo, os raios causam anualmente cerca de 130 mortes e prejuízos de R\$ 1 bilhão (GARCIA, 2013).

## **3 | PERIGOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Halliday David e Resnick (2009) destacam que as tempestades elétricas são perigosas por várias razões, alguns exemplos são o de se um relâmpago atingir uma pessoa ou um objeto que a pessoa estiver segurando, se um relâmpago atingir um objeto próximo, parte da carga poderá saltar e atingir a pessoa (um efeito conhecido como descarga lateral), se um relâmpago atingir o solo nas proximidades da pessoa, parte da carga produzida no solo poderá atravessar seu corpo.

Cotrim (2009) afirma que qualquer atividade biológica, seja ela glandular, nervosa ou muscular, é estimulada ou controlada por impulsos de corrente elétrica. Se essa corrente fisiológica interna se somar a outra corrente de origem externa, devido a um contato elétrico, ocorrerá uma alteração das funções vitais normais do organismo humano, que pode levar o indivíduo à morte, dependendo da duração da corrente.

No Brasil, os boletins do ELAT informam as mortes e consequências decorrentes da incidência de raios no período de 2000 a 2019 em todo o país, conclui-se que o número total de mortes nesse período foi de 2.194 pessoas sendo 26% na zona rural, 21% dentro

de casa, 9% na água ou próximo, 9% embaixo de árvore, 8% em área coberta, 7% em área descampada, 6% em meios de transporte e 4% em rodovias. Por estações do ano, 76% das mortes ocorreram no verão e na primavera, período do ano onde ocorrem cerca de 80% das descargas atmosféricas no Brasil.

Jr (2005) reforça que, por causa de sua grande extensão territorial e a proximidade do equador geográfico, o Brasil é um dos países de maior incidência de raios no mundo. Estima-se, com base em dados obtidos por sensores óticos a bordo de satélites na última década, que nosso país ostente o título de campeão mundial na ocorrência de raios em termos absolutos, com cerca de 50 a 70 milhões de incidências por ano em média. São dois raios por segundo, ou ainda sete raios por km<sup>2</sup> por ano. Diversos setores são afetados: telecomunicações, agricultura, aeronáutica, construção civil, indústria em geral e até o cidadão comum. O setor elétrico é de longe o mais atingido.

#### **4 | REGULAMENTAÇÃO DA NBR 5419 – 2015**

Cavalin e Cervelin (2011) exprimem que uma edificação é considerada segura contra descargas atmosféricas apenas quando todo o procedimento de “instalação de proteção for projetado e construído de tal maneira que os componentes da estrutura, as pessoas, os equipamentos e instalações, que estejam permanentemente ou temporariamente em seu interior, fiquem efetivamente protegidos contra os raios e seus efeitos pelo maior intervalo de tempo possível”.

A ABNT NBR 5419 é a norma responsabilizada pela proteção contra descargas atmosféricas no Brasil, no ano de 2015 uma nova versão foi publicada e dividida em quatro partes:

- Parte 1: Princípios gerais;
- Parte 2: Gerenciamento de risco;
- Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida;
- Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

As conexões entre as partes da ABNT NBR 5419 são ilustradas na Figura 1.



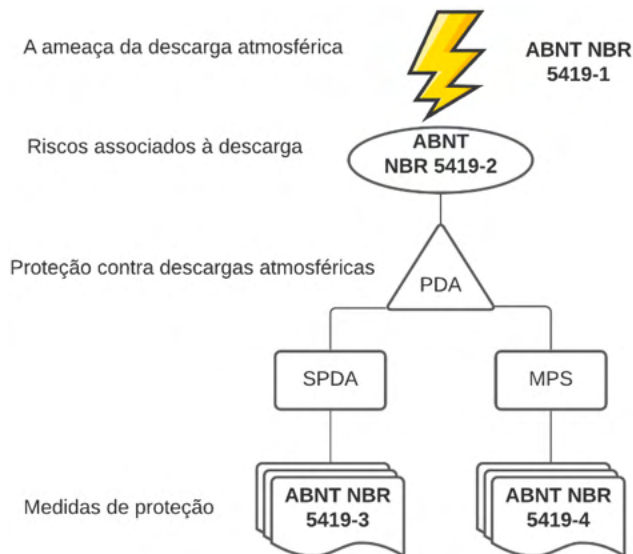


Figura 1. Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419. Fonte: Adaptado de (NBR 5419-1, 2015).

## 5 | GERENCIAMENTO DE RISCO DE ACORDO COM A NBR 5419 DE 2015

A ideia central desse estudo é realizar uma análise comparativa de um sistema de proteção em fase de instalação na edificação Sede do Tribunal de Contas do Estado de Rondônia (TCE-RO), com um projeto de referência de autoria própria, levantando as diferenças entre ambos os projetos com apontamentos na eficácia das medidas de proteção adotadas a partir das diretrizes da NBR 5419.

O cenário analisado foi o Edifício Sede do Tribunal de Contas do Estado de Rondônia, localizado na Av. Pres. Dutra, 4229 - Olaria, Porto Velho - RO, 76801-327, conforme pode ser observado na Figura 2, e o foco foram os sistemas e subsistemas interno e externo de um SPDA em fase de instalação. Toda a análise foi feita de maneira hipotética em um comparativo da utilização de um projeto já pronto, elaborado pelo engenheiro eletricista da empresa *Oficina Arquitetura & Design* versus um projeto com o mesmo objetivo, porém de autoria própria.



Figura 2. Tribunal de Contas do Estado de Rondônia.

Fonte: Própria Autora.

Para a elaboração do gerenciamento de risco, seguiu-se as diretrizes da NBR5419-2:2015. Assim, todos os cálculos foram elaborados com uma relação de perdas analisadas sem as medidas de proteção e com as medidas de proteção, para verificação do risco em que a edificação se encontrava antes e depois da instalação de um sistema de proteção.

Primeiramente, ao se analisar a estrutura e suas perdas relevantes, através dos componentes de riscos, é possível averiguar que o risco de perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura, como trata-se de um tribunal tem-se os problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados de grande relevância. Assim, dá-se a implicação da determinação do risco  $R_1$  para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco determinados na norma,  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$ , para compará-los com o risco tolerável  $R_T = 10^{-5}$ , conforme visto na Tabela 1.

TIPOS DE PERDAS		$R_T(Y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
L2	Perda de serviço ao público	$10^{-3}$
L3	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$

Tabela 1. Valores típicos de risco tolerável  $R_T$ .

Para adquirir os dados dos riscos aos quais a edificação está sujeita, é necessária uma série de cálculos que envolve analisar a estrutura: sua localização; a determinação da

área de risco; as zonas da edificação a serem protegidas; o levantamento da quantidade aproximada de pessoas presente em cada zona de risco; as informações das linhas de energia e sinal que adentram a edificação; etc. Todas essas informações devem ser levantadas e enfim os parâmetros devem ser dispostos conforme as Tabelas determinadas na Parte 2 da NBR 5419. Uma vez que todos os cálculos são elaborados sem as medidas de proteção é possível adquirir o risco da edificação para uma provável incidência de descargas atmosféricas em sua estrutura. Conforme pode ser observado na Tabela 2.

RISCO R1 PARA ESTRUTURAS NÃO PROTEGIDAS (VALORES $\times 10^{-5}$ )				
Tipo de dano	Símbolo	Z1	Z2	Estrutura
<b>D1</b> Ferimentos devido a choque	$RA$	0,0457	0,2744	<b>0,3201</b>
	$RU = RU/P + RU/T$	0,0000	0,0007	<b>0,0007</b>
<b>D2</b> Danos físicos	$RB$	0,0000	68,5999	<b>68,5999</b>
	$RV = RV/P + RV/T$	0,0000	0,1722	<b>0,1722</b>
<b>Total (R1)</b>		0,0457	69,0472	<b>69,0930</b>
<b>Não-Tolerável</b>		$R1 > RT$ : proteção contra descargas atmosféricas é necessária		<b>RT=1</b>

Tabela 2. Resultado do Gerenciamento de Risco SEM medidas de proteção.

Ao se observar a Tabela 2 adquirida a partir da análise do gerenciamento de risco, conclui-se que o risco calculado é muito superior ao risco tolerável, assim se faz necessária a adoção de medidas de proteção para a edificação sede do tribunal.

O risco R1 na estrutura é concentrado principalmente na zona Z2 (área interna da edificação) devido ao  $R_b$  que é o componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente e em que todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar.

Estes componentes de danos podem ser reduzidos provendo à edificação com um SPDA de acordo com a Parte 3 da NBR5419-3:2015 que podem reduzir  $R_b$  por meio da probabilidade  $P_b$ , ligação equipotencial em função do nível de proteção (NP), e acrescentando também dentro da zona Z2 medidas de proteção contra consequências de incêndio (extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape etc.). Essas medidas devem reduzir os componentes  $R_b$  e  $R_v$  por meio da redução do fator  $r_p$  que é o fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio.

Considerando o nível de proteção NP calculado para a edificação do tribunal através dos riscos e perdas associados a ela foi constatado a necessidade de uma interligação equipotencial em seu interior, assim foram combinados diferentes elementos de medidas

de proteção, a seguinte solução pode ser adotada:

**Solução:**

1. Proteger o edifício com um SPDA classe II de acordo com a ABNT NBR 5419-3, para reduzir a componente  $R_B$  ( $P_B = 0,05$ ).
2. Este SPDA inclui a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para NP ( $P_{EB} = 0,02$ ) e reduzir componentes  $R_U$  e  $R_V$ .
3. Utilizar sistemas de extinção de incêndio (ou detecção) para reduzir componentes  $R_B$  e  $R_V$ . Instalar um sistema de incêndio na zona Z2 ( $r_p = 0,5$ ).

De posse das informações adquiridas a partir do gerenciamento de risco, observou-se que a solução reduz o risco para valores abaixo do tolerável, estando sujeita aos critérios: melhor solução técnica devido maior eficiência na redução do risco de perdas, conforme Tabela 3.

RISCO R1 PARA ESTRUTURAS NÃO PROTEGIDAS (VALORES $\times 10^{-5}$ )				
Tipo de dano	Símbolo	Z1	Z2	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	$RA$	0,0002	0,0014	<b>0,0016</b>
	$RU = RU/P + RU/T$	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
D2 Danos físicos	$RB$	0,0000	0,3430	<b>0,3430</b>
	$RV = RV/P + RV/T$	0,0000	0,0034	<b>0,0034</b>
<b>Total (R1)</b>		0,0002	0,3478	<b>0,3481</b>
<b>Tolerável</b>		<b><math>R1 &lt; RT</math>: proteção contra descargas atmosféricas</b>		<b><math>RT=1</math></b>
<b>Medidas Adotadas:</b>	1 – Proteger o edifício com um SPDA Classe II (Probabilidade de danos físicos à estrutura - $P_B = 0,05$ )			
	2 – Este SPDA inclui a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para NP II - $PEB=0,02$ )			
	3 – Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape (fator de redução - $r_p=0,5$ ) na zona 2			

Tabela 3. Resultado do Gerenciamento de Risco COM medidas de proteção.

## 6 I APLICAÇÃO DO SPDA DETERMINADO NO GERENCIAMENTO DE RISCO

Para a elaboração de um SPDA Classe II foi utilizado o método eletrogeométrico, ou da esfera rolante, considerando a NBR 5419-3 que dispõe dos valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA, visto que como a edificação supera a altura de 30m acima dos valores da curva de

uma classe de SPDA, são aplicáveis apenas os métodos da esfera rolante e das malhas. Portanto o ângulo de proteção é  $30^\circ$  com o máximo afastamento dos condutores da malha de 10m, conforme se observa na Figura 3, em que o plano de referência adotado está na base da edificação, e a altura vai da base até o topo do captor.

Em função da necessidade de uma melhor proteção na cobertura, optou-se pela implantação de 3 captosres tipo Franklin equidistantes na cobertura, que embora não atendam a área exposta completamente, foi utilizado um subsistema de captação para suprir a área desprotegida.

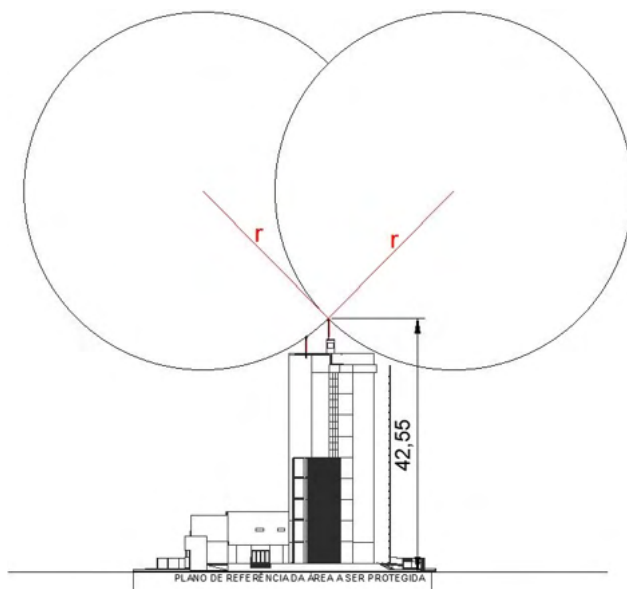


Figura 3. Método das esferas rolantes observado pela lateral da edificação do tribunal.

Fonte: Própria Autora.

Para o sistema de aterramento com proteção Classe II, é importante ressaltar que é necessário o cálculo do raio para o aterramento do anel, de acordo com a NBR5419-3:2015, na Figura 4 tem-se parte da malha de aterramento implantada no projeto.

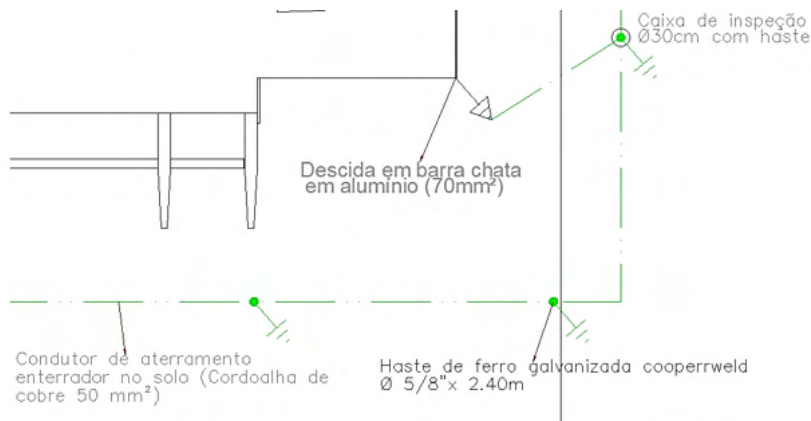


Figura 4. Representação de parte da malha de aterramento implantada no projeto elaborado para comparação.

Fonte: Própria Autora.

A NBR 5419-3 destaca que as classes III e IV são independentes da resistividade do solo, porém, como trata-se de um SPDA Classe II, se faz necessário o cálculo. Esse cálculo foi realizado com dados do Laudo Técnico de Resistividade do Solo, realizado pela empresa contratada para a elaboração do projeto, dos dados disponibilizados, consta que a maior resistividade encontrada foi de 497, 62 $\Omega$ .m, sendo assim o raio médio do anel de aterramento tem que ser no mínimo 5 metros, o mesmo atende as exigências da NBR 5419/2015. A alta resistência se deve pelo tipo de solo, sendo solo muito seco e com rochas ao seu redor, fazendo com que o solo se torne mais resistente para a condução da corrente elétrica.

Na elaboração do projeto comparativo do sistema de SPDA, foram consideradas as informações levantadas pela empresa e o laudo técnico de resistividade, uma vez que as hastes e a malha foram posicionadas a aproximadamente 1m da edificação e o distanciamento entre as hastes de aterramento foi adotado um valor de 5m, sendo que a distância não pode ser inferior ao comprimento da haste, que é de 3m, para que assim não comprometa a resistividade do solo nos pontos de instalação das hastes. Além disso foram adicionadas caixas de inspeção próximas de cada descida do sistema, sendo necessárias adequações para uma melhor distribuição a critério do projetista.

Com relação ao sistema de descidas, foi adotada uma malha em volta da edificação de em média 10m, exigido para a classe de SPDA adotada na NBR 5419. Houveram adequações especificamente para a edificação de estudo, para evitar a passagem de descidas próximos de áreas que impossibilitem a instalação da barra chata de alumínio, deve-se ressaltar que todos os materiais utilizados em todos os sistemas e subsistemas são permitidos na norma e que suas adequações não comprometem qualquer condução de corrente que possa ocorrer por uma descarga atmosférica. Portanto, o uso da barra

de alumínio se justifica tanto por ser esteticamente mais discreta é também tão eficiente quanto qualquer outro material para a aplicação no SPDA, conforme determina a normativa.

No sistema de equipotencialização, pode-se observar na Figura 5 a representação do condutor de 16mm<sup>2</sup> em que interliga cada quadro de barramento de equipotencialização local - BEL ao barramento de equipotencialização principal - BEP, os BELs foram alocados em cada pavimento, e o BEP encontra-se no subsolo, interligando todo o sistema de BELs e levando para a malha de aterramento. Cada BEL deve interligar em seu pavimento de alocação todos os quadros elétricos de distribuição, eletrocalhas, tubulações de incêndio e qualquer parte metálica viva, sujeita a condução de corrente elétrica em decorrência de descargas atmosféricas.

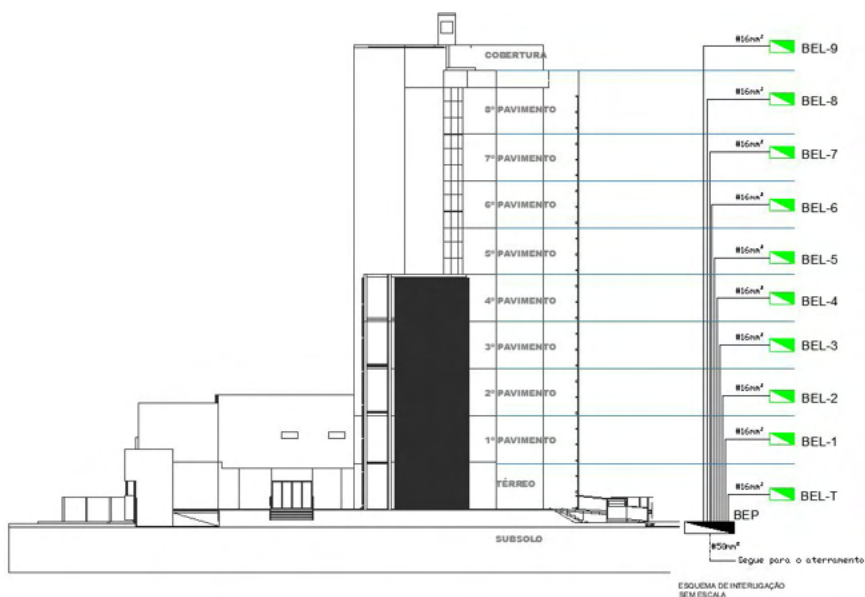


Figura 5. Representação da disposição de quadros de equipotencialização local e principal nos pavimentos da edificação.

Fonte: Própria Autora.

Após a análise de todos os sistemas que compõem o SPDA, tanto no projeto analisado quanto no projeto elaborado para comparação, observou-se que ambos têm a mesma eficiência quanto a proteção contra descargas atmosféricas, porém possuem muitas diferenças no que diz respeito a distribuição e quantidade de elementos do SPDA.

Das implicações, pode-se pressupor que as maiores distinções entre um projeto e outro é de valor econômico. Com essas considerações é possível concluir que o custo benefício não se aplica em casos em que a utilização de um projeto para outro com valor mais elevado e que implicam na mesma eficiência não é vantajoso para uma empresa que deseja cortar custos.

## 7 | CONCLUSÃO

Sabendo que a incidência de raios tem aumentado a cada ano no Brasil, é de vital importância que haja a melhoria dos meios de proteção contra descargas atmosféricas, seja por perda de vida humana ou por perda de patrimônio.

Conforme análise realizada no Edifício Sede do Tribunal de Contas do Estado de Rondônia, pode-se afirmar que a edificação está sendo protegida contra descargas atmosféricas, considerando que o sistema ainda está em fase de instalação, com algumas pequenas diferenças entre o projeto analisado e o projeto elaborado para comparação.

No que diz respeito ao gerenciamento de risco, observou-se que as medidas adotadas para proteger as zonas interna e externa ao Tribunal foram similares entre ambos os projetos, embora com alguns detalhes, não alterou no método utilizado e nas proteções adotadas para diminuição dos riscos.

Para todos os efeitos, a experiência é válida, e o aprendizado obtido através da prática e da vivência ao se acompanhar o avanço da instalação de um projeto em uma obra foi legítimo e vantajoso para a vida profissional, proporcionando uma visão abrangente para a área de Engenharia Elétrica.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo é o resultado obtido a partir da análise do projeto do SPDA que está sendo executado no Tribunal de Contas do Estado de Rondônia, do qual foi possível realizar o acompanhamento presencial e analisar os métodos de instalação implantados na edificação, desta forma os autores expressam seus agradecimentos à gestão que tornou isso possível, bem como todos os envolvidos que disponibilizaram seu tempo para responder os questionamentos que surgiram no decorrer do desenvolvimento desde projeto.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão.** Rio de Janeiro, 2008. 217 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 1: Princípios gerais.** Rio de Janeiro, 2015. 77 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de risco.** Rio de Janeiro, 2015. 116 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida.** Rio de Janeiro, 2015. 61 p.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.** Rio de Janeiro, 2015. 99 p.

AZEVEDO, T. et al. Ilhas de calor e aedes aegypti: um estudo preliminar para a cidade de Santa Bárbara d'oeste, SP-BRA, utilizando sensoriamento remoto. In.: [S.l.: s.n.], 2012.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S. **Instalações Elétricas Prediais: Conforme Norma 5410:2004.** 21. ed. São Paulo: Editora Erica Ltda, 2011. 422 p. ISBN 978-85-7614-541-8.

COTRIM, A. A. **Instalações elétricas.** Revisão e adaptação técnica: José Aquiles Baesso, Gromoni e Hilton Moreno. 5. ed. São Paulo: PEARSON Prentice Hall, 2009. 498 p. ISBN 978-85-7605-208-1.

ECO, Repórter. **Levantamento mostra relação entre poluição e aumento no número de raios - INPE.** Repórter ECO - TV Cultura (3:02 min), 2021. Disponível em: <[http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20210526093318Levantamento\\_mostra\\_relacao\\_entre\\_emissao\\_de\\_gases\\_do\\_efeito\\_estufa\\_e\\_aumento\\_no\\_numero\\_de\\_raios.mp4](http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20210526093318Levantamento_mostra_relacao_entre_emissao_de_gases_do_efeito_estufa_e_aumento_no_numero_de_raios.mp4)>. Acesso em: 26 de outubro de 2021.

GARCIA, R. **Poluição e urbanização estimulam raios.** Folha de São Paulo, volume, n. C5, p. 1, 2013.

HALLIDAY DAVID E RESNICK, J. W. **Fundamentos de Física 3. Eletromagnetismo.** [S.l.]: LTC, 2009. v. 3.

INPE. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2021.

JR, Osmar Pinto. **A arte da guerra contra os raios.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. ISBN 978-85-7975-023-6.

MAMEDE, J. F. **Instalações elétricas industriais.** 9 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2017. ISBN 978-85-216-3372-3.

MAGARÃO, R. V. Q.; GUIMARÃES, H. P.; LOPES, R. D. Lesões por choque elétrico e por raios. Rev Bras Clin Med. São Paulo, v. 9, n. 4, p. 288{93, 2011.

PEREIRA, P.; MORAIS, L. **Clima urbano e evolução da temperatura estival em Lisboa no século XX.** Tendência, número de noites quentes e amplitude térmica diária. Finisterra, v. 42, n. 83, 2007.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

ADMI 106, 108

Alimentadores 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105

Angulação 140, 141, 142, 143, 144, 147, 150, 151

Aprendizagem baseada em projetos 115, 118

Atenuação de riscos 114, 115

### B

Balanco energético 20, 90, 91, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Barramento magnético 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192

Bomba centrífuga 33, 35, 41, 46

Borracha sintética 199

### C

Circuitos digitais 21

Cliente 106, 108, 110, 112, 113

Controle adaptativo 50

Conversor CA/CC 153, 158

Conversor MAB 184, 187, 188

Correntes de Foucault 153, 155, 162

### D

Densidade de ligações cruzadas 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 209

Descargas atmosféricas 119, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 137, 138, 139

Direcionamento 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151

### E

Economic feasibility 15

Eficiência energética 33, 35, 40, 41, 140, 151

Electronic spreadsheet 15

Energia solar 20, 113, 140, 141, 143, 145, 150, 151, 152

Engenharia elétrica 49, 61, 62, 114, 115, 138, 152, 182, 184, 210

Engine knock 1, 2, 3, 13, 14

### F

Filtros probabilísticos 61, 62, 63, 72

Flory-Rehner 199, 201, 202, 204, 205

Freio eletromagnético 153, 154, 156, 158, 159, 161, 165, 166, 181, 182

Fuzzy cognitive maps 50, 51, 58, 59, 60

## **I**

Inversor de frequência 33, 34, 35, 39, 40, 43

## **L**

Localização 61, 62, 63, 64, 68, 69, 70, 71, 72, 132, 143, 144

Logistic regression 1, 2, 3, 4, 14

## **M**

Machine learning 1, 4

Medição de alimentadores 90

Misturador industrial 50

Model based design 1

Mooney-Rivlin 199, 202, 204, 205, 207

## **N**

Núcleos magnéticos 184

## **O**

Operações modulares 21

Ouvidoria 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113

## **P**

Perda de energia 90

Photovoltaic energy 15, 16, 20

Prazos serviços comerciais 106

Processamento digital de sinais 21

## **Q**

Qualidade de energia 90, 91, 92, 167

## **R**

Red de distribución eléctrica 74

Responsabilidade social 115, 116, 118

Robótica 61, 62, 63, 64, 67, 68, 72, 73, 162

## **S**

Satisfação 106, 108, 109, 111, 112, 113

SBR 198, 199, 200, 201, 206, 207, 208

Sistema de distribuição de água 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 46

Sistemas de proteções contra descargas atmosféricas 128

Smart grid 74, 75, 86, 88

## **T**

Transformador de estado sólido 184

## **V**

Vehículo eléctrico 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88


Videoaulas 61, 62, 72

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

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

  
Ano 2022

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

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

  
Ano 2022