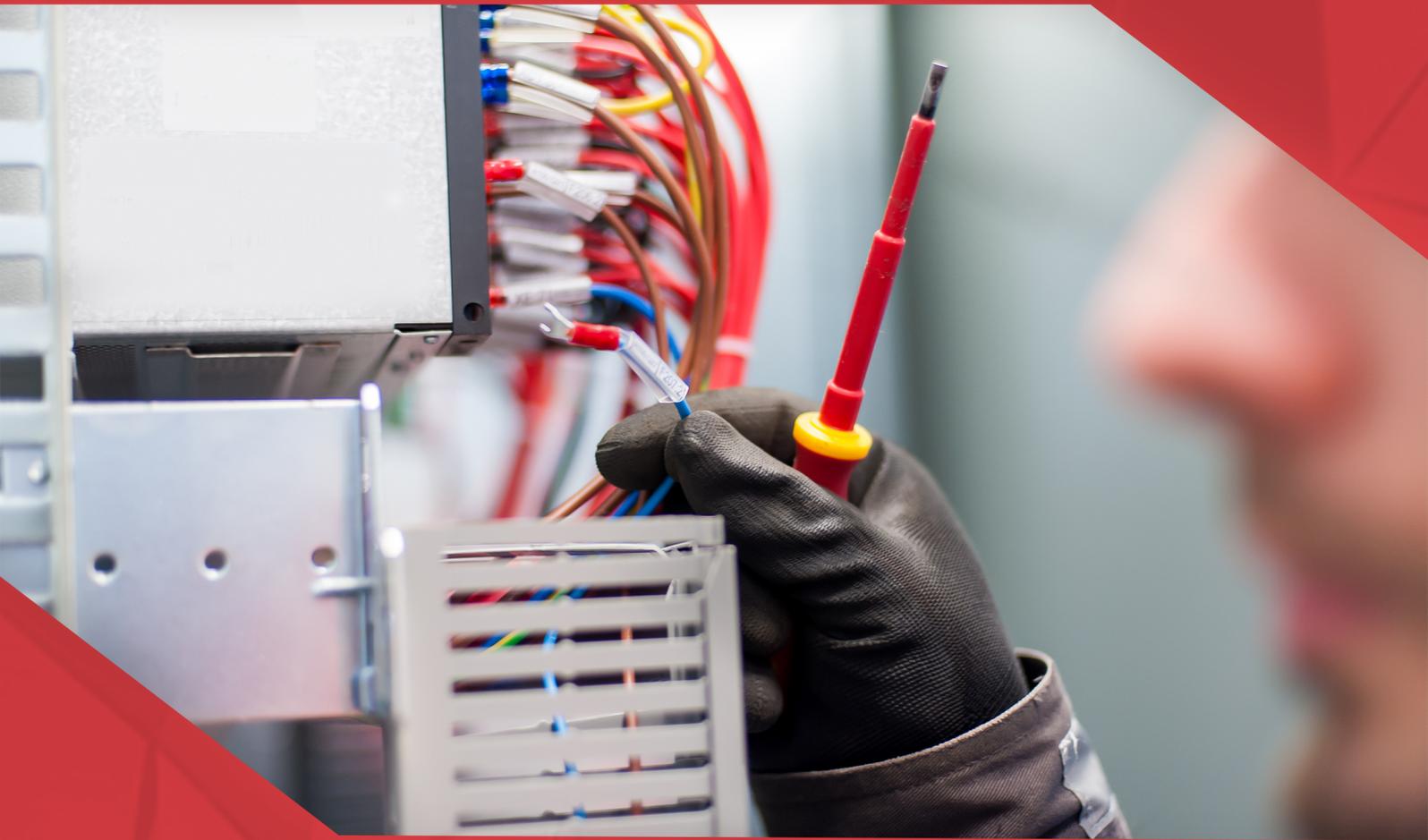


# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizadores)



# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizadores)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

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

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A642 A aplicação do conhecimento científico na engenharia elétrica [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-932-5

DOI 10.22533/at.ed.325201701

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João.  
II. Holzmann, Henrique Ajuz.

CDD 623.3

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

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## 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 eletricitista 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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PANORAMA ATUAL E CENÁRIO 2025 DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	
Isabela Valpecovski Urbanetz Allana de Moura Netto Bruno Scolari Vicente Leite Jair Urbanetz Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
GESTÃO EFICIENTE DAS ANUIDADES REGULATÓRIAS NA CEMIG DISTRIBUIÇÃO	
Rosane de Pinho Matos Viviane Fernanda de Aguiar Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
DESAFIOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE AJUSTES DE GRANDES SISTEMAS -NORMAS, PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS	
Rodrigo A. Benes Ferreira Mario Roberto Bastos Nilson José Francischetti Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
AVALIAÇÃO ECONÔMICA E ENERGÉTICA DE UM SISTEMA INTEGRANDO MÁQUINA BIOPEIXES E REATOR MULTIFUNCIONAL PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Francisco de Assis da Silva Mota Francisco Francielle Pinheiro dos Santos Paula Cristina de Amorim Andrade	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva Ailson Pereira de Moura Adriano Aron Freitas de Moura Douglas Aurélio Carvalho Costa Obed Leite Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
CARACTERIZAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DOS SFVCR NO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS	
Diego Piazza Hilgert Jair Urbanetz Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017016</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>75</b>
GECORTE CEMIG D: SELEÇÃO ÓTIMA DE ALVOS DE CORTE USANDO GEORREFERENCIAMENTO: DESENVOLVIMENTO SAP/CCS	
Wellington Fazzi Cancian Andre Luiz Soares Charles Ramos Pimenta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>89</b>
ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA CABOS PARA-RAIOS ENERGIZADOS	
José Ezequiel Ramos Alexandre Piantini Ary D'Ajuz Valdemir Aparecido Pires Paulo Roberto de Oliveira Borges	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>96</b>
A EXPERIÊNCIA DA COPEL COM RELIGADORES MONOFÁSICOS	
Maurício Varassim Hernandes Oscar Kim Júnior Fausto Aurélio Portella Garcia Guilherme Fernandes Gonçalves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>108</b>
SISTEMA DE MONITORAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA COM VISTAS A MELHORIA DA QUALIDADE DE SERVIÇO	
Klendson Marques Canuto Avilez Batista de Oliveira Lima Paulo Roberto de Oliveira Braga Juraci Gomes de Aguiar Filho André Ribeiro da Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>122</b>
TÉCNICA DE RESGATE PARA TRABALHOS EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS – MÉTODO AO POTENCIAL	
Fernando César Pepe Wlademir Braido	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>128</b>
MONITORAMENTO DE DESGASTE DE CONTATOS DOS DISJUNTORES DA SUBESTAÇÃO ISOLADA À GÁS DA UHE BELO MONTE	
Davi Carvalho Moreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170112</b>	

**CAPÍTULO 13 ..... 139**

COMPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES A ÓLEO E A SECO

Marco Antonio Ferreira Finocchio  
Márcio Mendonça  
Lucas de Oliveira Antunes  
Jeferson Gonçalves Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.32520170113**

**CAPÍTULO 14 ..... 147**

OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS APLICADA A CONTROLADORES DE CORRENTE PARA INVERSORES CONECTADOS À REDE

Lucas Cielo Borin  
Iury Cleveston  
Caio Ruviaro Dantas Osorio  
Gustavo Guilherme Koch  
Fabricio Moretto Bottega  
Vinicius Foletto Montagner

**DOI 10.22533/at.ed.32520170114**

**CAPÍTULO 15 ..... 161**

OTIMIZAÇÃO DA CONFIABILIDADE PELA ALOCAÇÃO DE CHAVES AUTOMÁTICAS E USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ILHAMENTO

Railson Severiano de Sousa  
Camilo Alberto Sepúlveda Rangel  
Criciéle Castro Martins  
Mauricio Sperandio  
Luciane Neves Canha

**DOI 10.22533/at.ed.32520170115**

**CAPÍTULO 16 ..... 175**

COMO SELECIONAR TRANSISTORES DE POTÊNCIA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES ESTÁTICOS?

Edemar de Oliveira Prado  
Pedro Cerutti Bolsi  
Mateus José Tiburski  
Éder Bridi  
Hamiltom Confortin Sartori  
José Renes Pinheiro

**DOI 10.22533/at.ed.32520170116**

**CAPÍTULO 17 ..... 190**

METODOLOGIA DE PROJETO DE CONVERSORES BOOST PARA APLICAÇÕES DE ALTA EFICIÊNCIA E ELEVADO GANHO DE TENSÃO

Mateus José Tiburski  
Éder Bridi  
Edemar Oliveira Prado  
Pedro Cerutti Bolsi  
Hamiltom Confortin Sartori  
José Renes Pinheiro

**DOI 10.22533/at.ed.32520170117**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>203</b>
INFLUÊNCIA DO PONTO DE OPERAÇÃO DE CONVERSORES ESTÁTICOS NO VOLUME E PERDAS DE DIFERENTES MATERIAIS MAGNÉTICOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pedro Cerutti Bolsi</li> <li>Edemar de Oliveira Prado</li> <li>Mateus José Tiburski</li> <li>Éder Bridi</li> <li>Hamiltom Confortin Sartori</li> <li>José Renes Pinheiro</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170118</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>218</b>
WIRELESS CHARGER MANUFACTURING USING INDUCTIVE METHOD	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maryam Liaqat</li> <li>Sulman Joseph</li> <li>Shamsa Maqsood</li> <li>Ali Raza</li> <li>Sana Aslam</li> <li>Waseem Imtiaz</li> <li>Muhammad Furqan Shoukat</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170119</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>235</b>
TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Djair Pamplona dos Santos</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170120</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>248</b>
OTIMIZAÇÃO DE CONVERSORES BOOST INTERCALADO DE ALTO GANHO DE TENSÃO E ALTA EFICIÊNCIA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Éder Bridi</li> <li>Mateus José Tiburski</li> <li>Edemar Oliveira Prado</li> <li>Pedro Cerutti Bolsi</li> <li>Hamiltom Confortin Sartori</li> <li>José Renes Pinheiro</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170121</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>262</b>
DETERMINAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A INCERTEZA NA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE POR SISTEMAS HIDRO METEOROLÓGICOS PARA AUXÍLIO NA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E PLANEJAMENTO HIDROENERGÉTICO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reinaldo Bomfim da Silveira</li> <li>Anderson Nascimento de Araujo</li> <li>Mino Viana Sorribas</li> <li>Camila Freitas</li> <li>Rafael Schinoff Mércio Pereira</li> <li>Ângelo Breda</li> <li>José Eduardo Gonçalves</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170122</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>276</b>



## METODOLOGIA DE PROJETO DE CONVERSORES BOOST PARA APLICAÇÕES DE ALTA EFICIÊNCIA E ELEVADO GANHO DE TENSÃO

Data de submissão: 03/10/2019

Data de aceite: 03/01/2020

### Mateus José Tiburski

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Santa Maria – RS

<http://lattes.cnpq.br/5498188421691529>

### Éder Bridi

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Santa Maria – RS

<http://lattes.cnpq.br/2790377192733673>

### Edemar Oliveira Prado

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Santa Maria – RS

<http://lattes.cnpq.br/1774778404976935>

### Pedro Cerutti Bolsi

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Santa Maria – RS

<http://lattes.cnpq.br/0324597211954149>

### Hamiltom Confortin Sartori

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Santa Maria – RS

<http://lattes.cnpq.br/6722822162374884>

### José Renes Pinheiro

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Santa Maria – RS

<http://lattes.cnpq.br/2333794966860226>

**RESUMO:** Este trabalho utiliza uma metodologia de projeto que combina o uso de um conjunto de componentes a busca da melhor solução através da maior eficiência. Esta metodologia, já consolidada, é aplicada através de um algoritmo que faz a varredura de diferentes pontos de operação do conversor. O método avalia um conversor Boost de alta potência e alto ganho que realiza a interface entre uma célula combustível e um barramento CC. Em virtude do alto ganho de tensão, este conversor é incomum para esta aplicação, devido a limitação do ganho estático causado pelas resistências séries presentes nos componentes. Com isso, técnicas para minimização das resistências séries são expostas, buscando elevar o ganho do conversor. Após obter os resultados, um conversor Boost é projetado com mínimas perdas e máxima eficiência, permitindo o uso desta topologia em aplicações com alta potência e alto ganho de tensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conversor Boost, Célula combustível, Rendimento.

### BOOST CONVERTER DESIGN METHODOLOGY FOR HIGH EFFICIENCY APPLICATIONS AND HIGH VOLTAGE GAIN

**ABSTRACT:** This work uses a design methodology that combines the use of a set of components to find the best solution through the highest efficiency. This methodology, already

consolidated, is applied through an algorithm that scans different operating points of the converter. The method evaluates a high power, high gain Boost converter that interfaces between a fuel cell and a DC bus. Due to the high voltage gain, this converter is unusual for this application due to the limitation of the static gain caused by the series resistances present in the components. Thus, techniques for minimizing series resistances are exposed, seeking to increase the gain of the converter. After obtaining the results, a Boost converter is designed with minimum losses and maximum efficiency, allowing the use of this topology in high power and high voltage gain applications.

**KEYWORDS:** Boost Converter, Fuel Cell, Efficiency.

## 1 | INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental e a busca por fontes de energia que não degradam o meio ambiente vêm recebendo um destaque especial nas últimas décadas. Uma destas fontes de energia, a célula combustível, não emite poluentes e apresenta alta taxa de eficiência (RASID et al., 2016). No entanto, a energia elétrica produzida por uma célula a combustível possui baixa tensão. Por tanto, é necessário o uso de um conversor CC-CC que realize a interface entre a célula combustível e o barramento CC. Deste modo, aumentando a tensão a níveis adequados de conversão (350-450 VCC) e protegendo a fonte contra variações de carga (WANG et al., 2004; SAMAVATIAN e RADAN, 2015).

Contudo, para o ideal aproveitamento da energia gerada pela célula é necessário que estes conversores apresentem altas taxas de eficiência. Dessa forma, faz-se necessário o uso de técnicas que analisem a eficiência dos componentes do conversor. Ou seja, buscar dispositivos semicondutores e elementos passivos que minimizem as perdas durante o processamento da energia.

Com o advento de novas tecnologias de materiais semicondutores, como: Carbetto de Silício (SiC), Nitreto de Gálio (GaN) e o CoolMOS criou-se a possibilidade do desenvolvimento de conversores com uma maior eficiência e densidade de potência. Estes materiais trazem consigo promissores avanços, pois apresentam baixas resistências de condução e baixas capacitâncias parasitas. O que possibilita aumentar a frequência de chaveamento dos conversores e proporciona a redução do volume dos elementos magnéticos (SARTORI et al., 2013).

Contudo, a busca por um projeto ótimo ainda traz grandes desafios aos pesquisadores de hoje. Isto porque, aliar o dimensionamento dos elementos ativos aos elementos passivos de um conversor pode se tornar uma difícil tarefa, se realizada de maneira inadequada. Partindo deste pressuposto, este artigo visa buscar a aplicação de uma metodologia de projeto que aperfeiçoe a busca pela eficiência e minimize o tempo através do algoritmo apresentado em (SARTORI et al., 2015, PIVETTA et al., 2016).

Este algoritmo será utilizado na otimização de um conversor Boost convencional

aplicado para a elevação da tensão de saída de uma célula combustível, conforme Figura 1(a). Esta topologia de conversor é utilizada pela simplicidade e o número baixo de componentes, o que torna este conversor interessante para a busca de uma melhor eficiência e densidade de potência. Devido ao alto ganho de tensão deste conversor, de 50 VCC, no pior caso da célula combustível, para 400 VCC, tensão do barramento CC, o maior esforço estará sobre a chave, pois 87,5% do tempo ela conduzirá, conforme (1), que descreve a equação do ganho estático ideal (M). Com base nesta afirmação, buscou-se também analisar o paralelismo de chaves e de capacitores (devido à alta corrente eficaz presente no capacitor e elevada resistência série), visando assim diminuir a corrente que passa por estes componentes e as perdas em condução.

$$M = \frac{1}{1 - D} \quad (1)$$

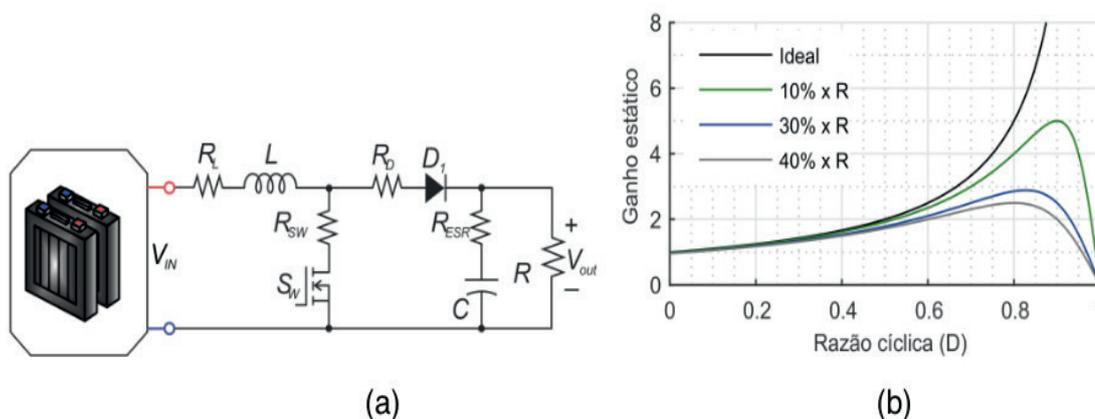


Figura 1 - Circuito do conversor Boost (a) e ganho estático (b).

Muitos trabalhos apresentam topologias de conversores para a elevação da tensão da célula combustível. Em Zhang et al. (2015), fez-se o uso da topologia do *Boost Interleaved* com duas fases, com multiplicador de tensão e estratégia de controle para minimizar os esforços nas chaves. Esta topologia para uma potência nominal de 1 kW, alcançou um rendimento de 97,2%. Já em Wu et al. (2017), a topologia estudada foi o conversor quasi-ressonante *Push-Pull* alimentado em corrente, ao qual buscava aumentar a confiabilidade e a diminuição do custo. Esta topologia apresentou rendimento máximo 96,12% para uma tensão de entrada de 50 V e potência de 510 W. Por fim, em Taheri et al. (2017), utilizou-se a topologia isolada baseada na combinação de um Flyback e *Forward* que têm o mérito minimizar o tamanho do núcleo dos indutores acoplados. Por fim, um protótipo de 500 W é montado, alcançando um rendimento maior que 94%.

Com base nos trabalhos apresentados anteriormente, nota-se que as principais formas de elevação da tensão da célula combustível baseiam-se em conversores isolados ou em multiplicadores de tensão. Além disso, estes trabalhos ressaltam que a utilização de um conversor *Boost* convencional para aplicação em alto ganho não é a ideal, pois devido aos elementos parasitas e as perdas associadas aos componentes

do conversor, fazem com que o ganho estático seja limitado (ZHANG et al., 2014; WU et al., 2017; TAHERI et al., 2017; SIWAKOTI e BLAABJERG, 2017). Esta afirmação é ilustrada na Figura 1(b), onde apresenta a influência da resistência série do indutor (RL) no ganho estático do conversor em relação percentual à resistência de carga (R). Com base nisso e tendo posse do algoritmo que varre parâmetros de operação do conversor e a busca a melhor solução para a aplicação, optou-se pela análise do conversor *Boost* convencional.

Para modelagem do ganho estático não ideal ( $M_{ef}$ ) descrita em (2), cada componente apresenta uma resistência série, conforme Figura 1(a). Sendo R a resistência da carga,  $R_{SW}$ ,  $R_L$  e  $R_D$  a resistência série da chave, do indutor e diodo, respectivamente. A equação (3) relaciona o rendimento com o ganho estático do conversor, sendo  $D'$  o complemento da razão cíclica (ERICKSON, 2000).

$$M_{ef} = \frac{1}{D'} \left( \frac{1}{1 + \frac{R_L + DR_{sw} + D'R_D}{D'^2 R}} \right) \quad (2)$$

$$\eta = M_{ef} D' \quad (3)$$

## 2 | METODOLOGIA DE PROJETO

A metodologia baseia-se na escolha do melhor projeto, podendo ser selecionado a melhor solução através do menor volume, maior rendimento ou densidade volumétrica de potência. O algoritmo desenvolvido fundamenta-se na varredura de três variáveis, a frequência de chaveamento, ondulação de corrente no indutor e densidade de corrente no condutor. Estes três parâmetros variam de um ponto mínimo a um ponto máximo. Ao fim, este algoritmo escolhe o melhor projeto, selecionando o melhor ponto de operação. A Figura 2 apresenta de maneira sucinta o fluxograma do algoritmo, proposto em Matlab®. Primeiramente, são definidos os parâmetros de entrada e os componentes utilizados pelo conversor, após é realizado o projeto individual de cada componente e estimativa de suas perdas. Ao final, as perdas e o volume são somados, a eficiência do conversor é calculada e a melhor solução é escolhida.

## 3 | ANÁLISE DE PERDAS DE CADA COMPONENTE

### 3.1 Perdas no capacitor

A energia dissipada pelo capacitor de saída do conversor *Boost* está relacionada à perda ôhmica na resistência série equivalente  $R_{ESR}$ . Esta resistência é vinculada a temperatura e a frequência da ondulação de corrente sobre o capacitor (BELTRAME et al., 2014). A equação que descreve o comportamento das perdas de condução no

capacitor é definida em (4), sendo  $i_C(t)$  a corrente instantânea sobre o capacitor.

$$P_{cap} = \frac{1}{T} \int_0^T i_C^2(t) R_{ESR} dt \quad (4)$$

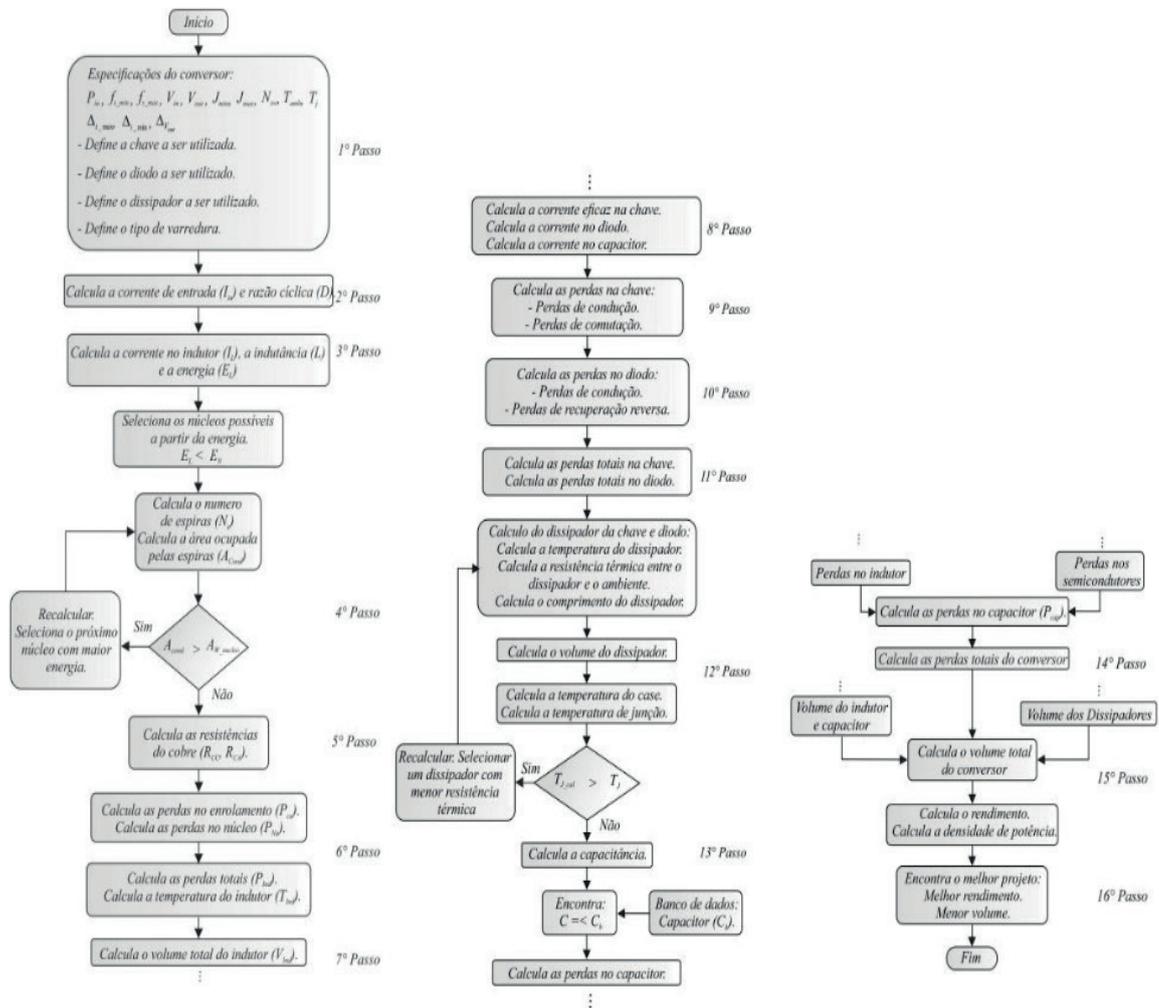


Figura 2 - Metodologia de projetos do conversor Boost.

### 3.2 Perdas nos semicondutores

A perda de condução no MOSFET está associada à resistência do canal no período de condução  $R_{ds(on)}$ . Esta resistência é diretamente ligada à temperatura de junção, sendo obtida do catálogo do fabricante (SARTORI et al., 2013). As perdas de condução são obtidas por meio de (5), sendo  $i_{sw}(t)$  a corrente instantânea que percorre o componente.

$$P_{sw(cond)} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{sw}^2(t) R_{ds(on)} dt \quad (5)$$

As perdas de comutação do MOSFET são calculadas para cada período de transição. No momento em que o interruptor é ativado, as perdas são dadas por (6) e obtidas por (7) durante o bloqueio. As variáveis,  $I_{min}$  e  $I_{max}$  são as correntes mínima e

máxima no semicondutor, respectivamente.  $V_{out}$  é a tensão de saída ou sobre a chave,  $t_r$  é o tempo de subida,  $t_f$  é o tempo de descida e  $C_{oss}$  é a capacitância de saída do interruptor (BELTRAME et al., 2014).

$$P_{sw(on)} = \frac{1}{2} I_{min} V_{out} t_r f_s + \frac{1}{2} C_{oss} V_{out}^2 f_s \quad (6)$$

$$P_{sw(off)} = \frac{1}{2} I_{max} V_{out} t_f f_s \quad (7)$$

As perdas totais na chave são obtidas pelo somatório das perdas de condução e comutação, conforme:

$$P_{sw(cond)} = P_{sw(cond)} + P_{sw(on)} + P_{sw(off)} \quad (8)$$

As perdas de condução no diodo são calculadas em função da queda de tensão que ocorre quando o dispositivo semicondutor está em condução. Esta queda de tensão depende tanto da corrente quanto da temperatura de junção que o diodo opera. Por outro lado, as perdas de comutação são determinadas a partir da carga de recuperação reversa  $Q_{rr}$  do diodo durante o bloqueio, esta carga está relacionada com a corrente e a temperatura de junção do semicondutor (TJ) (BELTRAME et al., 2014). A partir disso, as perdas totais no diodo são calculadas por (9), onde  $v_D(t)$  é a queda de tensão do semicondutor e  $i_D(t)$  é a corrente instantânea que flui no diodo.

$$P_{sw(cond)} = \frac{1}{T} \int_0^T v_D(t) i_D(t) dt + V_{out} Q_{rr} f_s \quad (9)$$

#### 4 | PERDAS NO INDUTOR

As perdas de enrolamento são obtidas em função da resistência CC e CA do condutor. A resistência CC do condutor é obtida por:

$$R_{cc} = \frac{\rho l_w}{A_w} \quad (10)$$

a qual depende da resistividade elétrica do fio, da área da seção transversal  $A_w$  e do comprimento do enrolamento  $l_w$  (SARTORI et al., 2015)

Já a resistência CA é obtida para núcleos toroidais por:

$$R_{ca} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}} N_e l_t \sqrt{\frac{\rho \mu_c \pi f_h}{d_w t_w}} \left(1 + \frac{2(N_c^2 - 1)}{3}\right) \quad (11)$$

sendo,  $N_e$  o número de espiras,  $l_t$  o comprimento médio da espira, a permeabilidade relativa do Cobre,  $f_h$  a frequência do harmônico,  $d_w$  diâmetro do condutor,  $t_w$  a distância entre dois condutores adjacentes e  $N_c$  o número de camadas de enrolamento (SARTORI et al., 2015)

Dessa forma, as perdas no enrolamento são dadas pela soma das perdas CC e CA, conforme:

$$P_W = R_{cc} I_{L(rms)}^2 + \sum_{f=0}^{\infty} R_{ca}(f_h) I_L^2(f_h) \quad (12)$$

Sendo  $I_{L(rms)}$  a corrente eficaz no indutor e  $I_L(fh)$  a corrente de cada harmônico. Já as perdas relacionadas ao núcleo são dadas por

$$P_{nu} = V_{nu} a \left( \frac{B_{nu}^b t_{on}}{(2t_{on})^c T_s} + \frac{B_{nu}^b t_{off}}{(2t_{off})^c T_s} \right) \quad (13)$$

onde, a equação depende diretamente do volume do núcleo  $V_{nu}$ , do tempo de condução da chave  $t_{on}$ , do tempo de condução do diodo  $t_{off}$ , do período  $T_s$ , da variação da densidade de fluxo magnético  $B_{nu}$  e das características magnéticas de cada núcleo obtidas do catálogo (a, b, c) (SARTORI et al., 2015)

## 5 | RESULTADOS

Na Tabela 1 são determinados os parâmetros de projeto utilizados para a varredura do algoritmo. A ondulação de corrente máxima de pico-a-pico foi mantida até 10%, para garantir baixa degradação da célula combustível. A chave utilizada é da família *CoolMOS* da fabricante *Infineon* (outras chaves poderiam ser analisadas, mas devido a característica de baixa resistência de condução, esta chave foi selecionada), o banco de capacitores eletrolíticos utilizado é da fabricante *TDK Corporation*<sup>TM</sup>.

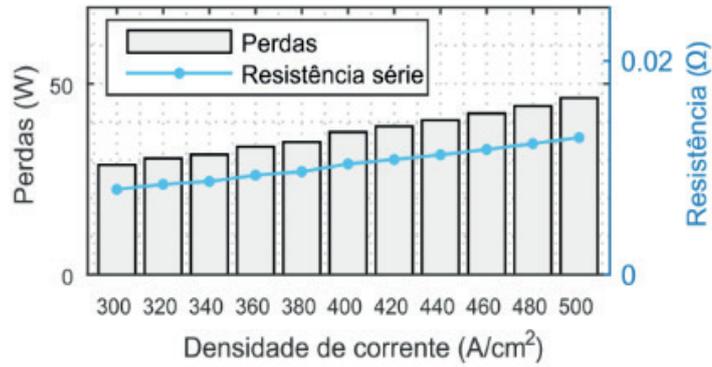
Parâmetros	Valor	Unidade
Frequência	1 - 50	kHz
Variação de corrente	1 - 10	%
Densidade de corrente	300 - 500	A/cm <sup>2</sup>
Número de chaves	1 - 10	-
Número de capacitores	1 - 10	-
Percentual de utilização da janela	40	%
Potência de saída	3000	W
Tensão de entrada	50	V

Tensão de saída	400	V
Variação da tensão de saída	10	%
Temperatura ambiente	25	°C
Temperatura de junção	100	°C
Núcleo	High Flux	
Chave	IPW60R017C7	
Diodo	IDW40G65C5	
Capacitores	TDK (47 - 1500) $\mu$ F	

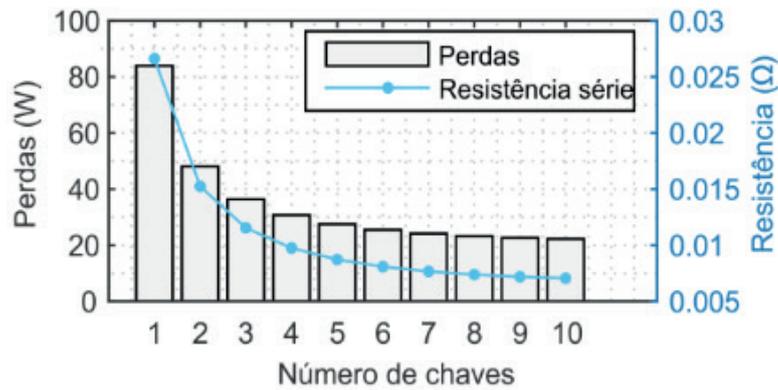
Tabela 1 - Parâmetros de projeto do conversor Boost.

A resistência série total do indutor tem um papel fundamental no ganho estático do conversor Boost, ela está presente em ambos os estágios de operação do conversor, conforme (2). Uma maneira de diminuir seu valor é reduzir a densidade de corrente do condutor, fazendo com que a seção transversal do condutor aumente e, assim, reduzindo a resistência CC do cobre, conforme (10). A Figura 3(a) mostra a relação entre densidade de corrente do fio com as perdas totais e a resistência em série do indutor. Contudo, uma investigação para valores menores de densidade de corrente do fio pode causar projetos inviáveis, isto é, esta redução influencia no tamanho do núcleo magnético, o que pode tornar o indutor volumoso, pois o algoritmo entra em um laço, buscando encontrar um núcleo exequível, conforme 4º passo, Figura 2. Pensando nisso, um limite de  $J_{min} = 300 \text{ A/cm}^2$  foi determinado.

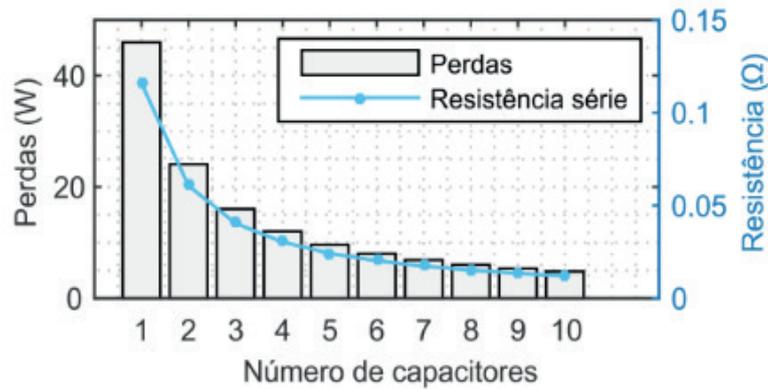
De acordo com (2), a chave também apresenta grande influência no ganho estático para razões cíclicas elevadas, pois sua resistência total é proporcional ao ciclo de trabalho (D). Além da busca por chaves com menor  $R_{ds(on)}$ , uma maneira de diminuir esta resistência é aplicar a técnica de paralelismo de chaves. Esta técnica mostra-se vantajosa nesta aplicação, pois reduz proporcionalmente a corrente que passa por este elemento, diminuindo as perdas de condução, conforme Figura 3(b), que relaciona o número de dispositivos em paralelo com a resistência total série e as perdas no interruptor. A resistência série equivalente e as perdas totais relacionadas ao número de capacitores em paralelo são mostradas na Figura 3(c), (os capacitores em adicionados em paralelo possuem mesma capacitância e resistência série). Esta resistência tem menor influência no ganho estático do conversor Boost, mas não deve ser negligenciada, pois afetam diretamente a eficiência do conversor.



(a)



(b)



(c)

Figura 3 – Perdas vs resistência série sob variação da densidade de corrente (a), número de chaves (b) e de capacitores (c).

Embora que outros dispositivos semicondutores com melhor desempenho pudessem ser utilizados na análise, a alta corrente presente neste componente faz com que as perdas sejam ainda muito altas, mesmo com uma única chave de menor resistência série, havendo a necessidade da utilização de chaves em paralelo. A Figura 4 apresenta uma análise detalhada das perdas de cada componente do conversor, considerando o uso de até 10 chaves em paralelo com mesmo  $R_{ds(on)}$ . Observa-se que, para uma chave, as perdas relacionadas ao transistor representam cerca de 47,18% do total de perdas, utilizando material magnético High Flux. A adição de chaves em paralelo faz com que as perdas relacionadas no interruptor diminuam exponencialmente. Para os outros componentes, a contribuição para as perdas do

conversor permanece constante, uma vez que o ponto de operação escolhido pelo algoritmo é o mesmo para todas as combinações de chaves.

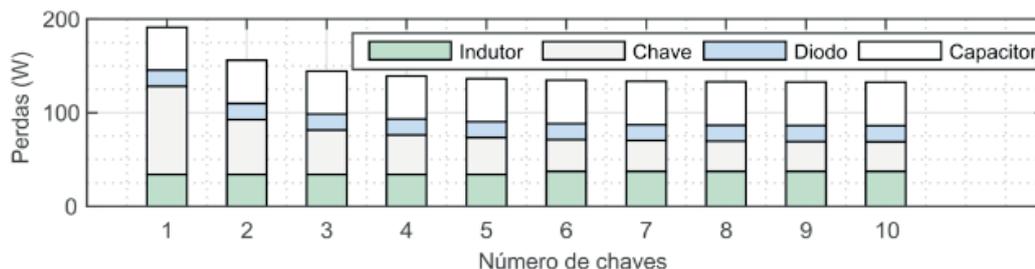


Figura 4 - Perdas nos componentes do conversor Boost para cada chave em paralelo.

Como visto na Figura 4 as perdas associadas ao capacitor apresentam uma grande contribuição nas perdas totais do conversor. Em vista disso, capacitores em paralelo para reduzir a corrente que flui através desses elementos são utilizados. A Figura 5 mostra uma análise de perdas do conversor considerando seis chaves em paralelo (este número máximo de interruptores é escolhido porque um aumento maior não apresenta uma diminuição significativa de perdas) e variando apenas o número de capacitores em paralelo. Como as perdas no capacitor são proporcionais à corrente quadrática (4), as perdas também diminuem exponencialmente com o acréscimo de capacitores paralelos.

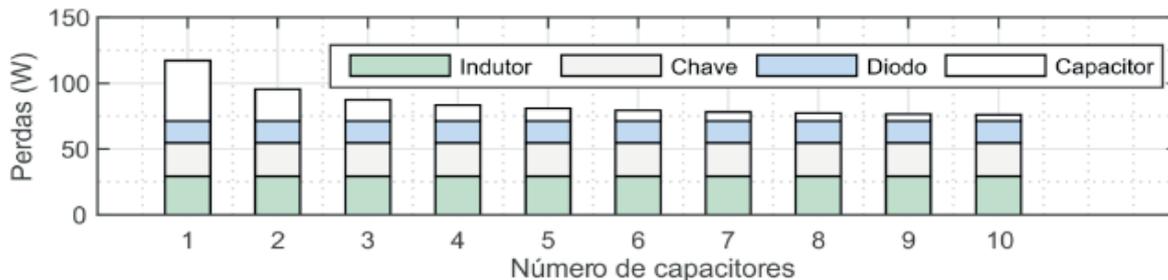


Figura 5 - Perdas nos componentes do conversor Boost para cada capacitor em paralelo.

No entanto, este número elevado de chaves e capacitores esbarra em outros problemas de otimização, o custo. A adição de chaves torna o sistema mais caro sem um aumento significativo no rendimento do conversor. Por outro lado, o aumento nas chaves traz consigo uma redução no volume do conversor, pois uma menor potência dissipada induz a um menor dissipador de calor para manter a temperatura de junção. A técnica de paralelismo torna-se interessante para esta aplicação em específico, onde a corrente nestes componentes é alta. No entanto, projetos com menor potência onde a variedade de componentes é maior, com dispositivos de melhor desempenho, o paralelismo não se torna a escolha ideal e sim a busca por componentes com melhor comportamento para a aplicação.

A Tabela 2 apresenta o resultado selecionado pelo algoritmo para o projeto do conversor com seis chaves e quatro capacitores em paralelo (com mesmo  $R_{ds(on)}$ )

para chave e mesmo  $R_{ESR}$  para o capacitor). Além disso, são expostas o projeto do indutor, as perdas e as resistências séries de cada componente.

Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Rendimento	97,2236%	AWG	20
Ondulação de corrente	10%	Número de fios em paralelo	33
Frequência	26 kHz	Número de espiras	79
Densidade de Corrente	300 A/cm <sup>2</sup>	Área de seção	0,2 cm <sup>2</sup>
Número de chaves	06	Execução	0,3321
Número de capacitores	04	Perda total	83.2907W
Núcleo	High flux	Perdas no indutor	29.1731 W
Capacitor	47 $\mu$ F	Interruptor	25.5046 W
Indutância	291.67 $\mu$ H	Perdas no diodo	16.5703 W
Part Number	58337	Resistência do indutor	0.0081 $\Omega$
Área da janela	47,1 cm <sup>2</sup>	Resistência da chave	0.0081 $\Omega$
Energia	2500m HA <sup>2</sup>	Resistência do diodo	0.0368 $\Omega$
Permeabilidade inicial	26%	Resistência do capacitor	0.0305 $\Omega$

Tabela 2- Dados de projeto obtidos pelo algoritmo.

A Figura 6 apresenta o ganho estático do conversor para aplicação das técnicas de paralelismo de transistores e capacitores e variação da densidade de corrente, utilizando-se das equações (1), (2) e (3) apresentadas anteriormente. Observa-se que o ganho alcançado para a condição de trabalho imposta é de 7,802, alcançando uma tensão de saída de 390,1V acima dos 350,0V descritos em (WANG et al., 2004). O que afirma a utilização do conversor Boost e a aplicação de técnicas de redução das resistências séries expostas é possível obter altos rendimentos e ganhos de tensão para a aplicação analisada.

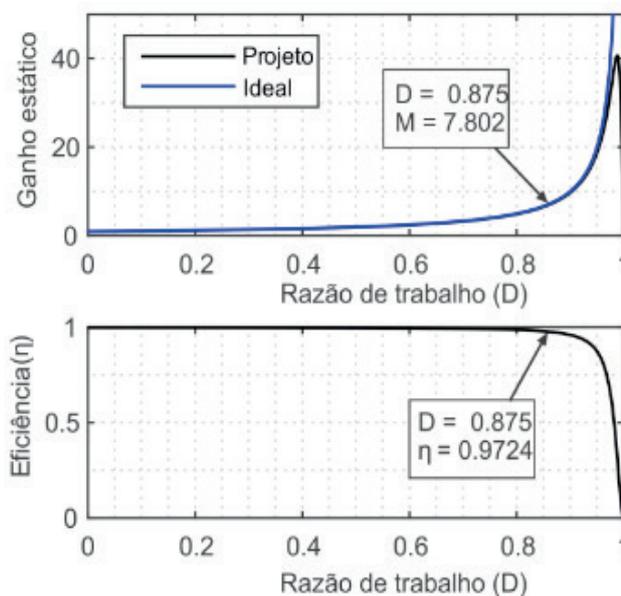


Figura 6 - Ganho estático e eficiência do conversor para os resultados da Tabela 2.

## 6 | CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou uma metodologia de projeto voltada à busca de uma melhor solução para um conversor Boost, aplicado a elevação da tensão de uma célula a combustível. Convencionalmente, devido às significativas perdas, esta topologia de conversor não é utilizada em aplicações com elevado ganho de tensão. Entretanto, a metodologia de projeto empregada aliada a técnicas de paralelismo e uma adequada escolha dos componentes possibilitaram o projeto de um conversor Boost com rendimento acima de 97% (97.22%).

A aplicação deste método, baseado na varredura de três parâmetros de projeto, ondulação e densidade de corrente no indutor e frequência de chaveamento, resultaram em projetos de alta eficiência. Além disso, buscando elevar o ganho técnicas de redução das resistências foram apresentadas. Logo, a aplicação da técnica de paralelismo de componentes resultou numa drástica diminuição nas perdas globais do projeto. Por exemplo, se compararmos o projeto proposto, Tabela 2, com o projeto que considera apenas uma chave e um capacitor (Figura 4), as perdas totais diminuíram em torno de 56% o que acarretaram um aumento na eficiência de 3,29%. Com base nos resultados obtidos são calculadas as resistências série de cada elemento do conversor e posteriormente, são apresentadas as curvas do ganho estático do conversor, evidenciando a possibilidade da utilização da topologia *Boost* em aplicações com alto ganho e alta potência. Por fim, vale ressaltar que o paralelismo de transistores e de capacitores pode reduzir as perdas e aumentar o ganho estático de conversores *Boost*.

## 7 | AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

BELTRAME F., DUPONT F. H., SARTORI H. C. and PINHEIRO J. R., " **Design methodology to improve the converters' efficiency applied to photovoltaic systems,**" IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Dallas, TX, 2014, pp. 1397-1403. doi: 10.1109/IECON.2014.7048684

ERICKSON, R. W., 2000. **Fundamentals of Power Electronics.** Second Edition. Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers.

PIVETTA L. C., SARTORI H. C. and PINHEIRO J. R., " **Designing power converters based on trade-offs and constrains,**" IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, 2016, pp. 3709-3714. doi: 10.1109/IECON.2016.7794001

RASID N., RAHIM N. A. and RAIHAN S. R. S., " **Comparative study of DC-DC converters for fuel cell vehicle,**" 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016), Kuala Lumpur, 2016,

SAMAVATIAN V. and RADAN A., "A High Efficiency Input/Output Magnetically Coupled Interleaved Buck-Boost Converter With Low Internal Oscillation for Fuel-Cell Applications: CCM Steady-State Analysis," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 9, pp. 5560- 5568, Sept. 2015. doi: 10.1109/TIE.2015.2408560

SARTORI H. C., BAGGIO J. E., H. L., PINHEIRO J. R. and BELTRAME F., "Integrated methodology design to improve the efficiency and reduce volume of the CCM PFC boost converters with pre-sizing settings," 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Buzios, 2015, pp. 1378-1385. doi: 10.1109/ISIE.2015.7281674

SARTORI H. C., BELTRAME F., FIGUEIRA H. H., BAGGIO J. E. and PINHEIRO J. R., "Power density comparative analysis concerning to three transistor technologies applied to a CCM PFC BOOST converter using optimization techniques," 2013 Brazilian Power Electronics Conference, Gramado, 2013, pp. 1317-1323. doi: 10.1109/COBEP.2013.6785286

SIWAKOTI, Y. P.; BLAABJERG, F. "Single switch nonisolated ultra-step-up dc-dc converter with an integrated coupled inductor for high boost applications. IEEE Transactions on Power Electronics, v. 32, n. 11, p. 8544-8558, Nov 2017. ISSN 0885-8993.

TAHERI M., MILIMONFARED J., ABBASI ARAND B. and SALEHI DOBAKHSHARI S., "high step-up dual full-bridge ZVS DC-DC converter with improved integrated magnetics and new resonant switched capacitor cell," in IET Power Electronics, vol. 10, no. 6, pp. 606-618, 5 19 2017. doi: 10.1049/iet-pel.2016.0520

WANG J., PENG F. Z., ANDERSON J., JOSEPH A. and BUFFENBARGER R., "Low cost fuel cell converter system for residential power generation," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 5, pp. 1315-1322, Sept. 2004. doi: 10.1109/TPEL.2004.833455

WU Q., WANG Q., XU J., LI H. and XIAO L., "A High-Efficiency Step-Up Current-Fed Push-Pull Quasi-Resonant Converter With Fewer Components for Fuel Cell Application," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 8, pp. 6639-6648, Aug. 2017. doi: 10.1109/TIE.2016.2638800

ZHANG L., Xu D., SHEN G., CHEN M., IOINOVICI A. and WU X., "A High Step-Up DC to DC Converter Under Alternating Phase Shift Control for Fuel Cell Power System," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 3, pp. 1694-1703, March 2015. doi: 10.1109/TPEL.2014.2320290

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

AIS 10, 13  
Ajustes de proteção 22, 28, 34, 103  
Alocação de Recursos 161  
Anarede 48, 49, 52, 54, 60  
Anuidades 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20

### B

BAR 10, 225  
Biodiesel 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47  
BRR 10

### C

CAIMI 10, 12, 13, 15, 19  
Capacidade Instalada 1, 2, 3, 8  
Célula combustível 190, 191, 192, 196  
Cenário Energético 1  
Chave fusível 96, 98, 110, 114  
Chaves Automáticas 161, 162, 163, 164, 167, 168, 171  
Comunidades isoladas 36, 38  
Confiabilidade 20, 22, 24, 27, 49, 50, 53, 60, 84, 90, 121, 130, 136, 139, 145, 161, 162, 163, 165, 166, 167, 171, 172, 174, 192, 243  
Continuidade do Fornecimento 108, 163  
Conversor Boost 190  
Conversores 147, 148, 175, 176, 190, 191, 192, 201, 203, 204, 209, 248, 249, 252, 258, 259, 260  
Conversores conectados à rede 147  
Custo operacional 15, 96, 102

### D

DEC 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 105, 106, 107, 111, 119, 164, 171  
Densidade de Corrente 193, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 205, 211, 213, 214, 248, 252, 256  
Descargas atmosféricas 89, 90, 92, 93, 94  
Desgaste de Contatos 128, 131

### E

Energia Solar Fotovoltaica 1, 2, 3, 6, 7, 8, 61

### F

Filtro LCL 147, 148, 149  
Fluxo de Potência 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 148  
Frequência 90, 97, 140, 147, 148, 151, 156, 163, 164, 175, 176, 177, 178, 181, 184, 185, 187, 191, 193, 196, 200, 201, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 212, 216, 250, 251, 252, 260

## G

Geração de energia 3, 36, 38, 43, 45, 46, 263

Geração Distribuída 2, 3, 4, 6, 9, 61, 62, 64, 65, 72, 73, 161, 162, 167, 172

## I

Ilhamento de Geração Distribuída 161

Indicadores de Qualidade de Serviço 108, 118

Índices operacionais 89, 94

Interrupções 89, 90, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 108, 118, 120, 134, 135, 163

Isolamento 124, 130, 139, 144, 164, 206, 207, 235, 238, 245

## M

Manutenção Preditiva 128, 129, 136

Monitoramento de Disjuntor 128

Monitoramento Digital 108

Monitoramento On-line 128, 129

## N

NERC PRC-027-1 21, 22

Núcleos Magnéticos 203, 252, 253, 257

## O

Otimização por enxame de partículas 147, 148, 152

## P

Perdas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 142, 146, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 257, 258

Perdas Técnicas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 57, 58, 60

Proteção de Sistemas Elétricos 21, 22

PSS Sincal 21, 22, 30, 31, 32, 35

## Q

Qualidade de Energia 96, 97, 107, 108, 109, 121

## R

Religador monofásico 96, 98, 99, 105

Rendimento 142, 143, 145, 176, 184, 186, 187, 190, 192, 193, 199, 200, 201, 248, 249, 252, 259

Resolução Normativa ANEEL N° 482/2012 61

## S

Siguard PSA 21, 22, 30, 31, 33

## T

Tecnologia PRE 89

Transformador a óleo 139, 141, 145

Transistores de potência 175, 177

## V

Vísceras de peixes 36, 43, 46

Volume 43, 57, 141, 188, 191, 193, 196, 199, 202, 203, 204, 207, 210, 211, 213, 214, 215, 216, 228, 250

