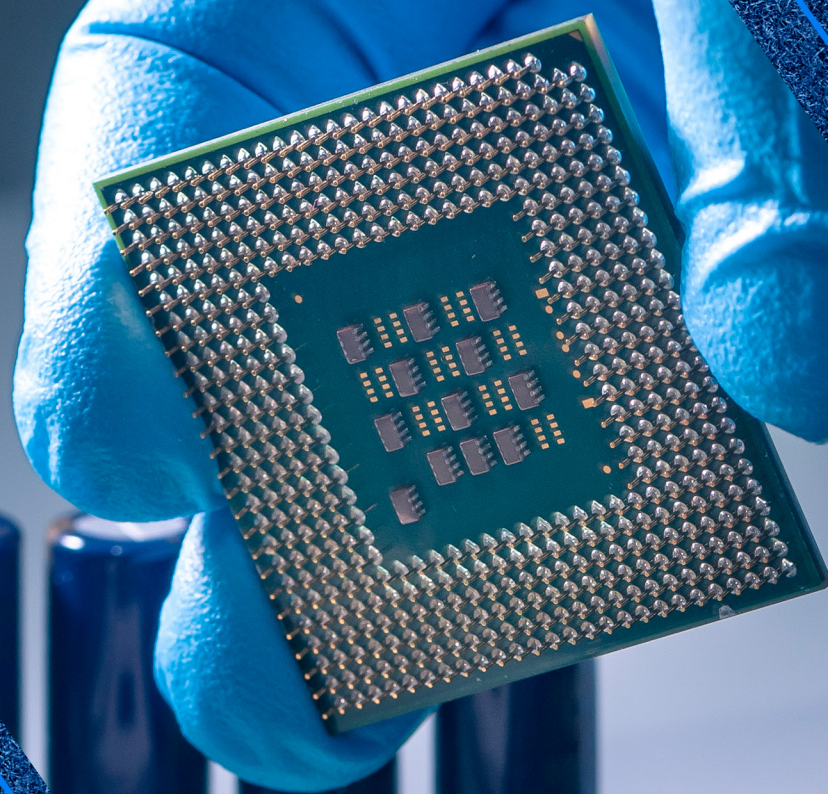


**Atena**  
Editora

Ano 2020

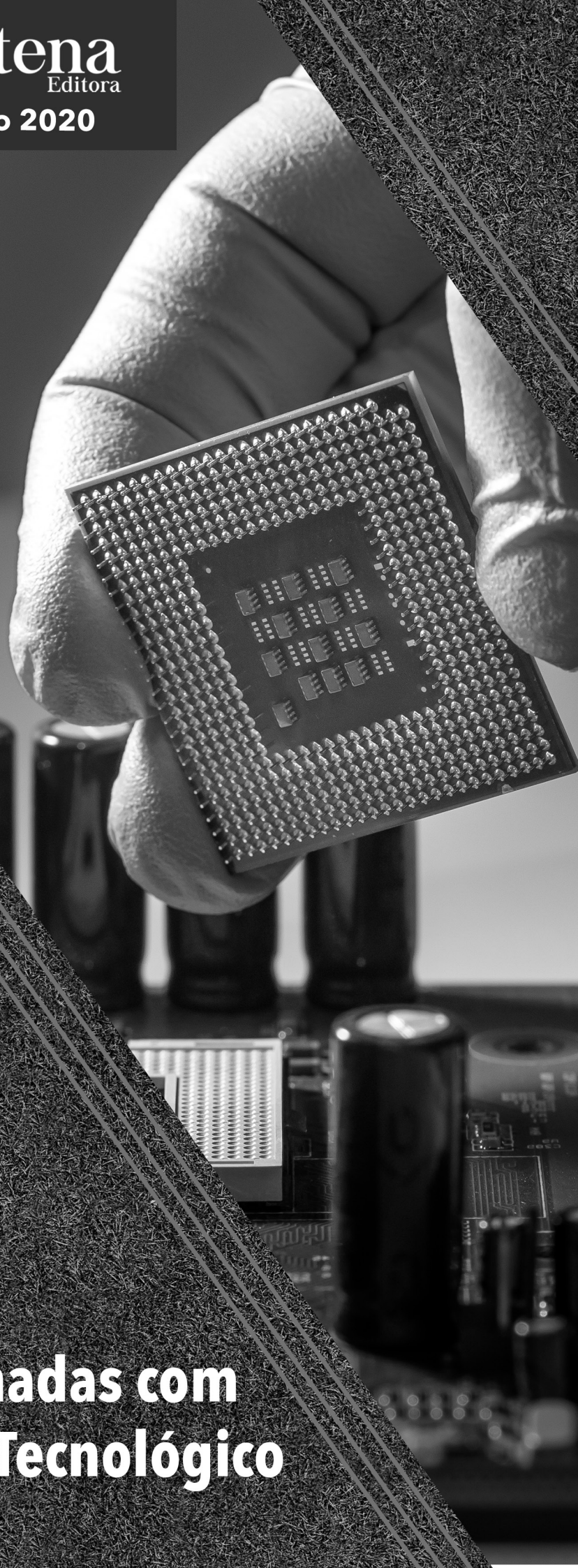


João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Marcelo Henrique Granza  
(Organizadores)

# **Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico**

**Atena**  
Editora

Ano 2020



João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Marcelo Henrique Granza  
(Organizadores)

**Engenharia Elétrica  
e de Computação:  
Atividades Relacionadas com  
o Setor Científico e Tecnológico**

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:** Camila Alves de Cremo

**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

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

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

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de 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

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

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  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
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  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
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 Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>Engenharia elétrica e de computação [recurso eletrônico] : atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 1 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-167-1            DOI 10.22533/at.ed.671200207</p> <p>1. Ciência da computação – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Granza, Marcelo Henrique.</p> <p style="text-align: right;">CDD 623.3</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

## APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica e da computação é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

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

Boa leitura

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Marcelo Henrique Granza

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA ESTUDO EM CONTROLE DE UM ROBÔ MÓVEL DE EQUILÍBRIO DINÂMICO	
Alex Sandro Garefa Guyllherme Emmanuel Tagliaferro de Queiroz Luis Antonio Bassora Flavio Eduardo Tapparo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
ROBÔ PARA INSTALAÇÃO DE SINALIZADORES AVIFAUNA	
Bruno Monteiro Costa Máiquel Bruno de Andrade Rezende Waldir Alves Diniz Ricardo de Souza Marcelo Clécio Paula da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
PROSPECTOS PARA A EVOLUÇÃO DA INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR EM CENTROS DE CONTROLE DE ENERGIA ELÉTRICA	
Luiz Corrêa Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
PROJETO CANAÃ - IRRIGADOR AUTOMÁTICO PARA O AGRONEGÓCIO	
André Kroupa Eldon Moura Cláudio Matheus da Costa Comin Rogério Luis Spagnolo da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>54</b>
PAINEL DE BORDO - UMA INÉDITA PLATAFORMA COMPUTACIONAL EM UTILIZAÇÃO NO NOVO CENTRO DE OPERAÇÃO DA CEMIG-D	
Tiago Vilela Menezes Bruno Henrique da Silva Carlos Jose de Andrade Huliton Paz de Oliveira Marco Aurélio da Silva Fereda Odimar José Bezerra Lima Rafael Carneiro Motta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
PARADIGMAS DAS TECNOLOGIAS 5G NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS VERTICAIS NA INDÚSTRIA 4.0	
Daniel Rodrigues Ferraz Izario João Luiz Brancalhona Filho Yuzo Iano Karine Mendes Siqueira Rodrigues Ferraz Izario	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002076</b>	



<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>81</b>
DATA REGENERATION 2R IN OPTICAL COMMUNICATION NETWORK BASED ON MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER WITH ACOUSTIC-OPTICAL FILTER AND HIGHLY NON-LINEAR PHOTONIC CRYSTAL FIBER	
<a href="#">Fabio Barros de Sousa</a> <a href="#">Fiterlinge Martins de Sousa</a> <a href="#">Jorge Everaldo de Oliveira</a> <a href="#">Elizabeth Rego Sabino</a> <a href="#">Marcos Benedito Caldas Costa</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
PROJETO DE UMA ANTENA PATCH PLANAR UTILIZANDO A SUPER FÓRMULA DE GIELIS	
<a href="#">Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira</a> <a href="#">Pedro Carlos de Assis Júnior</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>108</b>
UMA CONTRIBUIÇÃO NA AVALIAÇÃO DE MODELOS DE SATISFAÇÃO DO CLIENTE PARA OS SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS COM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS	
<a href="#">Gutembergue Soares da Silva</a> <a href="#">André Pedro Fernandes Neto</a> <a href="#">Fred Sizenando Rossiter Pinheiro</a> <a href="#">Antonio Salvio de Abreu</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6712002079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>130</b>
ATAQUES E DESCOBERTA DE VULNERABILIDADES EM REDES CORPORATIVAS	
<a href="#">Roger Robson dos Santos</a> <a href="#">Jackson Mallmann</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>139</b>
MODELO MATEMÁTICO PARA CONSOLIDAÇÃO DE MÁQUINAS VIRTUAIS	
<a href="#">Alexandre Henrique Teixeira Dias</a> <a href="#">Luiz Henrique Andrade Correia</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020711</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>151</b>
CAPTURE THE FLAG: MÉTODO DE APRENDIZADO PARA A DISCIPLINA DE FORENSE COMPUTACIONAL EM UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA	
<a href="#">Carlos Eduardo de Barros Santos Júnior</a> <a href="#">Ana Clara Nobre Mendes</a> <a href="#">Jhonattan Carlos Barbosa Cabral</a> <a href="#">Juliana Barbosa dos Santos</a> <a href="#">Erick de Oliveira Silva</a> <a href="#">Pedro Henrique Rodrigues Emerick</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020712</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>157</b>
A METODOLOGIA EPRI PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS CIBERNÉTICOS NAS INFRAESTRUTURAS CRÍTICAS E SUA RELAÇÃO COM A NORMA IEC 62443-2-1	
<a href="#">Luiz Augusto Kawafune Campelo</a>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>170</b>
ANÁLISE DA PERFORMANCE DO MRE E SEUS IMPACTOS COMERCIAIS – PROPOSTA DE REVISÃO DA REGULAÇÃO	
João Carlos Mello Leonardo Calabro Vinicius Ragazi David Daniela Souza Luiz Laércio Simões Machado Junior Renato Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020714</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>190</b>
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA INCLUSÃO EDUCACIONAL DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA MOTORA	
Felipe Massayuki Quiotoqui Italo Rodrigues da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020715</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>200</b>
SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS APLICADOS AO DIAGNÓSTICO DE CÂNCER DE MAMA	
Gustavo da Silva Maciel Wagner Kenhiti Nakamura Júnior Luiz Francisco Granville Gonçalves Leonardo Plaster Silva Simone Silva Frutuoso de Souza Fábio Roberto Chavarette Fernando Parra dos Anjos Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020716</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>213</b>
AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS NÃO INVASIVAS DE MEDIÇÃO DE GLICOSE EM HUMANOS	
Leanderson André Pedro Bertemes Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020717</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>224</b>
ENTENDIMENTO DOS CONTROLES E POSSÍVEIS CONFLITOS DE PRIVACIDADE NAS REDES SOCIAIS ONLINE	
Talita de Souza Costa Marbilia Possagnolo Sérgio Regina Marin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020718</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>236</b>
MODELAGEM DE PROBLEMA ELETROSTÁTICO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS	
Julia Grasiela Busarello Wolff Pedro Bertemes Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67120020719</b>	

<b>CAPÍTULO 20 .....</b>	<b>252</b>
SISTEMA DE MONITORAÇÃO DE CULTURA CELULAR <i>IN VITRO</i> VIA BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA: REGRAS DE PROJETO	
Kaue Felipe Morcelles	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.67120020720	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>265</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>266</b>

## MODELO MATEMÁTICO PARA CONSOLIDAÇÃO DE MÁQUINAS VIRTUAIS

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 09/03/2020

### Alexandre Henrique Teixeira Dias

Universidade Federal de Lavras, Departamento  
de Ciência da Computação  
Lavras – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7507259814589141>

### Luiz Henrique Andrade Correia

Universidade Federal de Lavras, Departamento  
de Ciência da Computação  
Lavras – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0453754730316303>

**RESUMO:** Nos últimos anos, a popularização da Internet acarretou uma demanda crescente por recursos computacionais com alta capacidade e disponibilidade. O alto investimento em recursos computacionais, aliado ao custo de manutenção e operação, fez com que muitas empresas terceirizem os seus centros de dados. A computação em nuvem surge como um modelo que provê aos usuários recursos computacionais sob demanda por meio de pagamento por uso. Grandes empresas como Amazon, Google e Facebook têm investido em computação em nuvem, oferecendo diversos serviços e aplicações aos seus usuários. Esses

grandes centros de dados têm sido responsáveis por cerca de 2% do consumo de energia elétrica global. Técnicas como a virtualização de servidores têm sido empregadas para reduzir custos de operação e consumo de energia. A consolidação de máquinas virtuais tem como objetivo realocar máquinas virtuais para um número reduzido de máquinas físicas usando migração. Mas, o processo de migração pode causar degradação do desempenho da máquina virtual, penalizando provedores de serviços em nuvens, conforme o acordo de nível de serviço estabelecido com o usuário. Na literatura recente, são encontrados diversos trabalhos que utilizam heurísticas para solucionar o problema da consolidação de máquinas virtuais (*virtual machine consolidation problem* - VMCP). Este trabalho utiliza métodos exatos para encontrar uma solução ótima para o VMCP, por meio de programação linear inteira mista. Resultados utilizando o simulador CloudSim Plus, 10 dias de traces do *PlanetLab*, para quatro tipos de máquinas virtuais, e uma configuração de 800 máquinas físicas, mostraram que o modelo exato proposto, encontra solução ótima em até 190 segundos.

**PALAVRAS-CHAVE:** computação em nuvem, migração de máquinas virtuais, programação linear inteira mista.

**ABSTRACT:** Recently, the popularization of the Internet has led to an increase in the demand for computing resources of high capacity and availability. The elevated investment in computing resources, combined with maintenance and operation costs, has induced many companies to outsource their data centers. Cloud computing arises as a model that provides computing resources on-demand to users in a pay-as-you-go subscription. Companies such as Amazon, Google, and Facebook have invested in cloud computing, offering several services and applications to their users. These data centers have been responsible for roughly 2% of global power consumption. Techniques such as server virtualization have been employed to reduce operation and power consumption costs. Virtual machine (VM) consolidation aims to reallocate VMs to a reduced number of PMs using migration. However, migration can lead to VM performance degradation, penalizing cloud service providers, according to the service level agreement established with the user. There are several works in recent literature using heuristics to solve the VM Consolidation Problem (VMCP). This work uses exact models to find the optimal solution to the VMCP, through mixed-integer linear programming. Results using the CloudSim Plus simulator, 10 days of the PlanetLab trace, for four types of VMs, and setup of 800 PMs, have shown that the proposed exact model finds the optimal solution in at most 190 seconds.

**KEYWORDS:** cloud computing, virtual machines migration, mixed-integer linear programming.

### 1 | INTRODUÇÃO

A popularização da Internet nos últimos anos tem aumentado a demanda por recursos computacionais. Pessoas de diferentes áreas acessam esses recursos através de centros de dados, que tiveram que crescer em tamanho para acomodar a demanda. A computação em nuvem surgiu como um modelo para acessar recursos computacionais através de pagamento de serviços sob demanda, fazendo que os centros de dados alcançassem um novo grau de importância.

Almejando melhorar a utilização de recursos de centros de dados em nuvens (*cloud data centers* - CDCs), reduzir os custos de capital (*capital expenditures* - CAPEX) e os custos operacionais (*operational expenditures* - OPEX), máquinas físicas (*physical machines* - PM) usam virtualização, uma camada de abstração de software que permite múltiplas instâncias de sistemas operacionais executem em uma única PM (BARHAM et al., 2003). Apesar disso, recentemente o consumo de energia de CDCs vem ganhando importância, sendo estimado em aproximadamente 2% de toda energia consumida globalmente (ARROBA et al., 2015).

Grandes empresas estão investindo em computação em nuvem verde, almejando melhorar sua eficiência energética. A Google construiu um centro de dados que é resfriado

utilizando a água fria do mar da Finlândia (GOOGLE, 2020). Além disso, as empresas Amazon e Facebook se comprometeram a energizar suas instalações usando 100% de energias renováveis (AMAZON, 2020; FACEBOOK, 2020)

Contudo, empresas pequenas não possuem dinheiro para investir em tecnologia de ponta para melhorar a eficiência energética de seus CDCs. Logo, outra forma alternativa de reduzir o consumo de energia é o gerenciamento eficiente de recursos. A consolidação de máquinas virtuais surge como uma alternativa para reduzir o consumo de energia. Esta técnica visa reduzir a quantidade de máquinas físicas ativas e conseqüentemente reduzir o consumo de energia (BELOGLAZOV; BUYYA, 2010).

Entretanto, desligar máquinas físicas pode reduzir a capacidade de processamento do CDC e afetar a qualidade de serviço (quality of service - QoS) do usuário, acarretando no problema da consolidação de máquinas virtuais (*virtual machine consolidation problem* - VMCP).

## 1.1 OBJETIVOS

Na literatura recente, são encontrados diversos trabalhos que utilizam heurísticas para solucionar o problema da consolidação de máquinas virtuais. Entretanto, existe uma lacuna na literatura de métodos exatos que resolvam o VMCP.

O objetivo deste trabalho é apresentar um método exato para melhorar a eficiência energética em centro de dados em nuvem enquanto mantém a qualidade de serviço. Para isso, é proposto um novo modelo matemático que considera o tempo de solução. Isso é particularmente importante nesse contexto, pois o objetivo é otimizar continuamente o CDC. Tempos longos de solução são inaceitáveis, pois a carga de trabalho das VMs pode variar dinamicamente em curto prazo.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os conceitos básicos, que tratam de computação em nuvem, migração e consolidação de máquinas virtuais e do problema do empacotamento.

### 2.1 COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A computação em nuvem é um modelo de negócio que permite aos usuários acessarem e gerenciarem um conjunto de recursos computacionais sob demanda (MELL; GRANCE, 2011). Consumidores de serviços em nuvem negociam o Acordo de Nível de Serviço (*Service Level Agreement* - SLA) com os provedores de serviço em nuvem (*Cloud Service Providers* - CSP). O SLA é um acordo legal entre as partes envolvidas onde os Objetivos de Nível de Serviço (*Service Level Objectives* - SLO), ou seja, a qualidade de serviço esperada (*Quality of Service* - QoS) é definida em termos dos Indicadores de Nível de Serviço (*Service Level Indicators* - SLI), que são características mensuráveis do

serviço fornecido (BEYER et al., 2016).

Os provedores de serviço em nuvem provêm três tipos de serviços principais (MELL; GRANCE, 2011): *Software as a Service* (SaaS) permite que consumidores tenham acesso a soluções de *software* hospedadas nas instalações do CSP; *Platform as a Service* (PaaS) oferece ambientes para desenvolvimento, teste e implantação de aplicações; e *Infrastructure as a Service* (IaaS) provê acesso a recursos computacionais sob demanda que serão usados de acordo com a demanda do usuário.

## 2.2 MIGRAÇÃO DE MÁQUINAS VIRTUAIS

A migração de máquinas virtuais, é uma funcionalidade provida pelos *hypervisors*, que transfere o estado dos recursos virtuais de uma VM entre PMs distintas, permitindo balanceamento de carga, consolidação da carga de trabalho, gerenciamento do consumo de energia e manutenção transparente (STRUNK, 2012). A migração pode ser usada para melhorar a utilização de recursos e reduzir o consumo de energia. Contudo, a migração de VMs tem impacto negativo na QoS, já que durante o processo, existe *overhead* de banda e de CPU.

Em geral, CDCs modernos utilizam dispositivos de armazenamento em rede (*network-attached storage* - NAS). Então, a migração de VMs usualmente transfere apenas as páginas da memória RAM e o estado do CPU entre as PMs, utilizando uma combinação das seguintes técnicas (CLARK et al., 2005):

- *push*: páginas da VM original, executando na PM fonte, são transferidas para a PM destino. Se as páginas enviadas se tornarem sujas, devem ser reenviadas;
- *stop-and-copy*: a VM original cessa sua execução na PM fonte e suas páginas de memória são transferidas para a PM destino. Depois que as páginas foram transferidas com sucesso, a VM pode retomar sua execução na PM destino;
- *pull*: a nova VM, executando na PM destino, faz requisições das páginas da VM original, executando na PM fonte, em caso de ocorrência de falta de página.

As técnicas mencionadas acima podem ser utilizadas para desenvolver algoritmos de migração de VMs que podem ser estáticos ou frias (*non-live*, a VM para de executar durante o processo de migração) e a quente (*live*, a VM continua executando enquanto suas páginas de memória estão sendo transferidas). O desempenho do algoritmo de migração depende do tipo de carga de trabalho executada. Se a taxa de páginas sujas da carga de trabalho é maior que a banda, uma combinação das fases de *stop-and-copy* e *pull* são preferidas, visto que a fase de *push* transferiria diversas páginas de memória desnecessariamente. Contudo, se a carga de trabalho não faz escritas extensivamente, uma combinação das fases de *push* e *stop-and-copy* seria capaz de prover um equilíbrio entre tempo de migração e *downtime* (tempo em que a VM está inoperante).

## 2.3 CONSOLIDAÇÃO DE MÁQUINAS VIRTUAIS

O consumo de energia de uma PM, que usualmente apresenta consumo de energia estático (sem carga) entre 50% a 70% do seu consumo máximo, pode ser aproximado por uma função linear de sua utilização de CPU como exibido pela Equação (1) (FAN; WEBER; BARROSO, 2007). Dessa forma, é importante colocar as PMs em modos de baixo consumo de energia visto que a utilização das PMs em um CDC varia de 10% a 50% (BARROSO e HÖLZLE, 2007).

$$P(u) = P_{estático} + (P_{máximo} - P_{estático}) \times u \quad (1)$$

A consolidação de VMs é uma técnica que reduz o consumo de energia de um CDC ao colocar PMs ociosas em modos de economia de energia (HERMENIER; LORIAN; MENAUD, 2006). As VMs podem ser dinamicamente realocadas para outras PMs através da migração. O problema da consolidação dinâmica de VMs pode ser dividido em quatro subproblemas (BELOGLAZOV; ABAWAJY; BUYYA, 2012):

- detecção de PMs subutilizada: decide se uma PM está subutilizada (ociosa) de acordo com a carga de trabalho atual;
- detecção de PMs sobrecarregadas: decide se uma PM está sobrecarregada de acordo com a carga de trabalho atual;
- seleção de VMs: seleciona VMs das PMs para serem migradas. Se a PM está subutilizada, todas as VMs são selecionadas da mesma, enquanto que se a PM está sobrecarregada, seleciona algumas VMs para reduzir a carga da PM;
- alocação de VMs: encontra um novo mapeamento entre as VMs e PMs que seja eficiente em energia e que evite violações do SLO.

## 2.4 PROBLEMA DO EMPACOTAMENTO

O problema do empacotamento (*Bin Packing Problem* - BPP) é um problema de otimização combinatória NP-Difícil, que pode ser formalmente definido da seguinte forma (MARTELLO; TOTH, 1990): dado um conjunto de itens  $N=\{1, \dots, n\}$ , cada um dos quais possui um volume  $v_i \in \mathbb{R}_{>0}$ , e um conjunto de pacotes candidatos  $M=\{1, \dots, m\}$ , cada um dos quais possui a mesma capacidade de volume máxima  $V \in \mathbb{R}_{>0}$ , o objetivo do BPP é alocar os itens ao menor número de pacotes possível, respeitando a atribuição dos mesmos e a capacidade de cada pacote. Assuma que  $y_j \in \{0, 1\}$  vale 1 se o pacote  $j$  é usado, 0 caso contrário, e que  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  vale 1 se o item  $i$  foi atribuído ao pacote  $j$  e 0 caso contrário.

Segue um modelo matemático para o BPP.

$$\min \quad \sum_{j=1}^m y_j \quad (2)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq V y_j \quad \forall j \in M, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (4)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in M, \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in M \quad (6)$$



A função objetivo (2) minimiza o número total de pacotes a serem usados. As restrições (3) garantem que a soma dos volumes do item de um pacote não excedam sua capacidade máxima. A atribuição de cada item em no máximo um pacote é garantido pelas restrições (4). O domínio binário das variáveis  $y_j$  e  $x_{ij}$  são garantidas pelas restrições (5) e (6), respectivamente.

### 2.4.1 HEURÍSTICAS

Uma vez que o BPP é NP-Difícil, um algoritmo eficiente que resolve o problema na otimalidade, em tempo polinomial de execução, provavelmente não existe a menos que  $P = NP$ . Dessa forma, heurísticas têm sido utilizadas para se obter soluções subótimas em tempo polinomial de execução. A seguir estão alguns exemplos de heurísticas clássicas para o BPP (MARTELLO; TOTH, 1990).

Na heurística *Next Fit* (NF), apenas um pacote está aberto por vez e os itens são atribuídos ao mesmo se não violam sua capacidade. Quando um item não puder ser inserido em um pacote, o mesmo é fechado e um novo pacote é aberto. O processo continua até que não reste nenhum item para ser atribuído. *First Fit* (FF) abre e rotula os pacotes para indexação. A heurística atribui o item ao pacote adequado com o menor index. Um novo pacote é aberto quando nenhum dos pacotes abertos pode armazenar o item. Por fim, *Best Fit* (BF) é uma variação da FF e atribui itens aos pacotes com menor capacidade residual.

As heurísticas descritas acima são *online*, no sentido de que elas não conhecem a distribuição dos itens *a priori*. Se os itens são previamente conhecidos, eles podem ser armazenados em ordem decrescente de volume e usados como entrada para NF, FF, e BF, resultando nas heurísticas *offlines Next Fit Decreasing* (NFD), *First Fit Decreasing* (FFD), and *Best Fit Decreasing* (BFD), respectivamente.

## 3 | TRABALHOS RELACIONADOS

Muitas heurísticas foram propostas para o problema da consolidação de máquinas virtuais (BELOGLAZOV; ABAWAJY; BUYYA, 2012a). Nesses trabalhos, PMs são classificadas de acordo com a sua carga de trabalho baseada em técnicas que utilizam limiares estáticos. *Single Threshold* (ST) é uma heurística que mantém a utilização de CPU das PMs abaixo de um limiar superior de utilização, através da seleção de VMs para migração a fim de mitigar a superutilização das PMs.

Três outras heurísticas almejam manter a utilização de CPU de uma PM entre limiares superior e inferior, diferindo apenas na maneira como as VMs são selecionadas para migração (BELOGLAZOV; ABAWAJY; BUYYA, 2012). *Minimization of Migrations* (MM) busca minimizar o número total de migrações, reduzindo os *overheads* de desempenho e

energia causados pelo processo de migração. *Highest Potential Growth* (HPG) seleciona a VM com a menor utilização de CPU com relação a sua capacidade, visando prevenir seu aumento que poderia acarretar em violação do SLO. Por fim, *Random Choice* (RC) escolhe as VMs aleatoriamente.

As VMs são atribuídas a novas PMs usando o *Power Aware BFD* (PABFD) que é uma variação da heurística BFD para o BPP. Em cada iteração do PABFD, uma VM é levada em consideração e a heurística estima, para cada PM, seu consumo de energia caso recebesse a VM atual. Então, a VM é atribuída a PM que apresenta menor acréscimo no consumo de energia. O processo é repetido até que todas as VMs sejam atribuídas a alguma PM.

Diferentemente dos trabalhos supracitados, este trabalho introduz um método exato para resolver o problema de consolidação de VMs. Existe um limite, contudo, no tamanho das instâncias que podem ser resolvidas através de métodos exatos em tempo hábil. Embora abordagens híbridas não sejam o foco deste trabalho, uma estratégia deste tipo, poderia utilizar os algoritmos de classificação acima como um procedimento de pré-processamento, a fim de reduzir o número de PMs e VMs que seria fornecido ao método exato.

## 4 | METODOLOGIA

O VMCP é formalizado como descrito a seguir. Dado um centro de dados em nuvem heterogêneo  $CDC=(V,P,R)$ , em que  $V=\{1,\dots,n\}$  é um conjunto de  $n$  VMs sendo atendidas pelo CDC,  $P=\{1,\dots,m\}$  é o conjunto de PMs disponíveis no CDC para hospedagem de VMs, e  $R=\{1,\dots,l\}$  é o conjunto de recursos (CPU, RAM, disco) sendo considerados durante o processo de otimização.

Sejam  $r_{ik}$  e  $u_{ik}^v$  as quantidades de recursos  $k$  (em unidades arbitrárias), requisitadas e usadas pela VM  $i$ , respectivamente, e  $\bar{x}_{ij}$  a alocação da VM  $i$  antes do processo de otimização, em que  $\bar{x}_{ij}$  é igual a 1 se a VM  $i$  foi atribuída a PM  $j$ , 0 caso contrário. Além disso, sejam  $\overline{p_{j,estático}}$  e  $\overline{p_{j,máximo}}$  o consumo de energia estático e máximo da PM  $j$ , respectivamente, e seja  $\overline{p_j}$  seu consumo de energia antes da otimização. Cada PM  $j$  possui capacidade  $c_{jk}$  do recurso  $k$  (em unidades arbitrárias).

O objetivo do VMCP é encontrar um novo mapeamento entre VMs e PMs, minimizando o número de PMs ativas. Neste problema, VMs são realocadas dinamicamente através migração a quente de VMs. Como o processo de migração leva ao acréscimo no consumo de energia e a degradação do desempenho, o novo mapeamento deve ser conservador (em algum nível), a fim de minimizar o número de migrações desnecessárias.

Todas as VMs devem ser alocadas ao final da otimização, cada VM pode ser alocada no máximo a uma PM, e o novo mapeamento não pode violar as restrições de capacidade

de cada PM. De maneira geral, existem dois tipos de restrições de capacidade: baseado em reserva e baseado em demanda (WOLKE et al., 2015). O primeiro considera o  $r_{ik}$  para calcular a capacidade residual e estimar o consumo de energia, enquanto o último usa o  $u_{ik}^v$ . A diferença é que, em um ambiente com excesso de demandas, mais VMs podem ser consolidadas em um PM, com base no pressuposto de que as VMs não utilizam totalmente seus recursos na maior parte do tempo. Isso pode reduzir o consumo de energia, mas pode causar mais SLAVs do que a alocação baseada em reserva.

Seja  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  a alocação da VM após a otimização, onde  $x_{ij}$  é 1 se a VM  $l$  foi atribuída a PM  $j$ , 0 caso contrário.  $p_j \in \mathbb{R}_{\geq 0}$  é o consumo de energia da PM  $j$  após a otimização, definido em termos da sua utilização de CPU atual  $u_{j,CPU}^p \in \mathbb{R}_{\geq 0}$ , dada em porcentagem de uso.

A Tabela 1 apresenta uma visão geral da notação usada para definir o modelo matemático, incluindo conjuntos, parâmetros de entrada e variáveis de decisão.

<b>Conjuntos</b>	
$V = \{1, \dots, n\}$	conjunto de VMs sendo alocadas no CDC
$R = \{1, \dots, l\}$	conjunto de recursos levados em consideração
$P = \{1, \dots, m\}$	conjunto de PMs sendo alocadas no CDC
<b>Parâmetros de entrada</b>	
$r_{ik}$	quantidade requisitada pela VM $l$ do recurso $k$
$u_{ik}^v$	quantidade utilizada pela VM $l$ do recurso $k$
$c_{jk}$	capacidade total da PM $j$ do recurso $k$
$\underline{p}_{j,estático}$	consumo de energia estático da PM $j$
$\underline{p}_{j,máximo}$	consumo de energia máximo da PM $j$
<b>Variáveis de decisão</b>	
$x_{ij}$	1 se a VM $l$ alocada na PM $j$ depois da otimização, 0 caso contrário
$p_j$	consumo de energia da PM $j$ após a otimização
$u_{j,CPU}^p$	quantidade de CPU utilizada pela PM $j$

Tabela 1: notação usada na definição do modelo matemático.

#### 4.2. MODELO MATEMÁTICO

No modelo apresentado a seguir, as restrições de capacidade são computadas em termos de  $r_{ik}$ , portanto, usando alocação baseada em reserva. Porém, essas restrições podem ser modificadas para alocação baseada em demanda, alterando  $r_{ik}$  para  $u_{ik}^v$

$$\min \quad \sum_{j=1}^m p_j \quad (7)$$

$$\text{s.a.} \quad u_{j,CPU}^p = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} \times u_{i,CPU}^v}{c_{j,CPU}}, \quad \forall j \in P, \quad (8)$$

$$p_j = \underline{p}_{j,estático} + (\underline{p}_{j,máximo} - \underline{p}_{j,estático}) \times u_{j,CPU}^p \quad \forall j \in P, \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
p_j &\geq 0, & \forall i \in P, & (10) \\
p_j &\leq \underline{p_{j,máximo}}, & \forall j \in P, & (11) \\
\sum_{j=1}^m x_{ij} &= 1, & \forall i \in V, & (12) \\
\sum_{i=1}^n r_{ik} x_{ij} &\leq c_{jk}, & \forall j \in P, \forall k \in R & (13) \\
x_{ij} &\in \{0, 1\}, & \forall i \in V, \forall j \in P & (14) \\
p_j &\in \mathbb{R}_{\geq 0}, & \forall j \in P & (15)
\end{aligned}$$

A Equação (7) introduz a função objetivo que minimiza o consumo de energia das PMs. As Restrições (8) computam o consumo de energia de uma PM utilizando a Equação (1). Os limites inferior e superior do consumo de energia são dados pelas Restrições (9) e (10), respectivamente. A atribuição de todas as VMs é assegurada pelas Restrições (11). A alocação baseada em reserva é garantida pelas Restrições (12). Por fim, as Restrições (13) e (14) definem os domínios das variáveis de alocação das VMs (binárias) e das variáveis de consumo de energia (contínuas).

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo proposto foi avaliado no simulador CloudSim Plus (FILHO et al., 2017), versão 5.0.0, usando o *trace* do PlanetLab (PARK; PAI, 2006) que contém registros de utilização de CPU de dez dias aleatórios dos meses de Março e Abril de 2011. Gurobi 8.1 foi utilizado para implementar e resolver o modelo matemático. Foram utilizados os parâmetros padrões do Gurobi. As simulações e o *solver* foram executados em uma máquina com um processador Intel® Core™ i7-4770 @ 3.40 GHz, 8 GB de RAM e sistema operacional Linux.

Um CDC com 800 PMs foi simulado da mesma maneira como o experimento feito em (BELOGLAZOV; BUYYA, 2012b). Todas as PMs tem 4 GB de RAM, 1 Gb/s de banda e 1 TB de disco. As PMs diferem no processador: 400 PMs são criadas com uma CPU de dois núcleos simulando o Intel® Xeon® 3040 @ 1.8 GHz, que executa 1860 MIPS (Milhões de Instruções por Segundo); enquanto as outras 400 PMs possuem uma CPU de dois núcleos simulando o Intel® Xeon® 3075 @ 2.66 GHz com 2660 MIPS. O consumo de energia das PMs é extraído do *benchmark* SPECpower\_ssj@2008 das máquinas HP ProLiant ML110 G4 e HP ProLiant ML110 G5.

Quatro tipos de VMs foram criadas com configurações similares às da Amazon *Elastic Cloud Computing*. Todas as VMs são criadas com uma única CPU virtual (vCPU), 100 Mb/s de banda, e tamanho do disco de 2,5 GB. As diferenças entre cada instância estão na quantidade de MIPS e na capacidade de RAM de cada VM: *High-CPU Medium* tem 2500 MIPS e 870 MB de RAM; *Extra Large* tem 2000 MIPS e 1740 MB de RAM; *Small* tem 1000 MIPS e 1740 MB de RAM; por fim, *Micro* possui 500 MIPS e 613 MB de RAM.

A Tabela 2 mostra o resumo dos resultados para os 10 dias do dataset. A solução é dada em Watts, já neste trabalho, não foi realizada otimização contínua dos cenários.

<i>Trace</i>	Número de VMs	Tempo (s)	Solução (W)
20110303	1052	60,84	73.047,6
20110306	898	45,60	72.832,8
20110309	1061	44,69	73.092,4
20110322	1516	190,08	73.189,2
20110325	1078	62,37	72.963,7
20110403	1463	100,66	73.321,7
20110409	1358	94,76	73.221,9
20110411	1233	62,59	73.176,2
20110412	1054	55,56	72.953,4
20110420	1033	52,77	72.917,1

Tabela 2: resumo dos resultados.

Conforme visto na Tabela 2, a solução ótima para o problema foi encontrada em menos de 190 segundos para todos os dias do *trace*. Dessa forma, nota-se que é possível empregar métodos exatos para instâncias pequenas e médias para o VMCP. Pela tabela, também é possível notar que o número de VMs não é um fator exclusivo para redução do tempo de busca da solução. Assim, a utilização das VMs também é um fator importante no tempo de busca da solução ótima. A principal diferença, entre o modelo proposto e o BPP tradicional, é o fato de que o pacote pode estar sendo parcialmente utilizado (PM que não está sendo 100% utilizada). Isto faz com que as variáveis que determinam se uma PM está ativa não sejam mais necessárias, reduzindo a complexidade do modelo.

Além disso, o mapeamento inicial das VMs também pode impactar no tempo de busca da solução ótima. Neste trabalho as VMs foram atribuídas aleatoriamente às PMs. Contudo, outros escalonadores devem ser testados para determinar se existe algum método mais eficiente.

Visto que o modelo proposto utiliza o método de alocação baseada em reserva, ele não viola o SLA em um dado instante de tempo. Porém, dada a limitação deste trabalho de não realizar a otimização contínua dos cenários, deve-se analisar em trabalhos futuros, qual o impacto da migração nesses casos e a comparação do método de alocação baseada em reserva e baseada em demanda.

## 6 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho propôs um novo modelo para o VMCP. Como visto nos resultados, o tempo de solução até a otimalidade é aceitável para instâncias com 800 PMs e

aproximadamente 1500 VMs. Contudo, como mencionado anteriormente, ainda há a necessidade de avaliar o desempenho do modelo em um cenário com otimização contínua.

Em trabalhos futuros, além das limitações discutidas anteriormente, algumas opções podem ser exploradas, como: uso de dados históricos para fornecer robustez ao modelo atual; uma combinação de heurísticas e métodos exatos para melhorar o tempo de solução para instâncias maiores; exploração de desigualdades válidas e geração de colunas para o VMCP.

## REFERÊNCIAS

AMAZON. **AWS & Sustainability**. 2020. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/about-aws/sustainability/>>. Acesso em: 6 mar. 2020.

ARROBA, P. et al. DVFS-aware consolidation for energy-efficient clouds. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL ARCHITECTURE AND COMPILATION, 24., 2015, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: IEEE, 2015. p. 494–495.

BARHAM, P. et al. Xen and the art of virtualization. **ACM SIGOPS Operating Systems Review**, New York, v. 37, n. 5, p. 164–177, 2003.

BARROSO, L. A.; HÖLZLE, U. The case for energy-proportional computing. **Computer**, Piscataway, v. 40, n. 12, 2007.

BELOGLAZOV, A.; ABAWAJY, J.; BUYYA, R. Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 28, n. 5, p. 755–768, 2012.

BELOGLAZOV, A.; BUYYA, R. Optimal online deterministic algorithms and adaptive heuristics for energy and performance efficient dynamic consolidation of virtual machines in cloud data centers. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, Hoboken, v. 24, n. 13, p. 1397–1420, 2012.

BEYER, B. et al. **Site Reliability Engineering: how Google runs production systems**. Sebastopol: O’Reilly, 2016.

CLARK, C. et al. Live migration of virtual machines. In: SYMPOSIUM ON NETWORKED SYSTEMS DESIGN & IMPLEMENTATION, 2., 2005, Boston. **Proceedings...** Boston: USENIX, 2005. p. 273–286.

FACEBOOK. **Sustainable data centers**. 2020. Disponível em: <<https://sustainability.fb.com/innovation-for-our-world/sustainable-data-centers/>>. Acesso em: 6 mar. 2020.

FAN, X.; WEBER, W.-D.; BARROSO, L. A. Power provisioning for a warehouse-sized computer. **ACM SIGARCH Computer Architecture News**, New York, v. 35, n. 2, p. 13–23, 2007.

FILHO, M. C. S. et al. CloudSim Plus: a cloud computing simulation framework pursuing software engineering principles for improved modularity, extensibility and correctness. In: IFIP/IEEE SYMPOSIUM ON INTEGRATED NETWORK AND SERVICE MANAGEMENT, 15., 2017, Lisbon. **Proceedings...** Lisbon: IEEE, 2017. p. 400–406.

GOOGLE. **Data Centers**. 2020. Disponível em: <<https://www.google.com/about/datacenters/inside/locations/hamina/>>. Acesso em: 6 mar. 2020.

HERMENIER, F.; LORANT, N.; MENAUD, J.-M. Power management in grid computing with Xen. In:

FRONTIERS OF HIGH PERFORMANCE COMPUTING AND NETWORKING, 4., 2006, Sorrento.  
**Proceedings...** Sorrento: Springer, 2006. p. 407–416.

MARTELLO, S.; TOTH, P. **Knapsack problems: algorithms and computer implementations**. Chichester: J. Wiley, 1990.

MELL, P.; GRANCE, T. et al. **The NIST definition of cloud computing**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2011.

P

ARK, K.; PAI, V. S. CoMon: a mostly-scalable monitoring system for PlanetLab. **ACM SIGOPS Operating Systems Review**, New York, v. 40, n. 1, p. 65–74, 2006

STRUNK, A. Costs of virtual machine live migration: a survey. In: IEEE WORLD CONGRESS ON SERVICES, 8., 2012, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: IEEE, 2012. p. 323–329

WOLKE, Andreas et al. More than bin packing: Dynamic resource allocation strategies in cloud data centers. **Information Systems**, v. 52, p. 83-95, 2015.

## ÍNDICE REMISSIVO

### SÍMBOLOS

5G 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 95, 96

### A

Antenas de microfita 95, 96, 107

Ataques de rede 130

Automação 2, 40, 59, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 79, 80, 159, 163, 167, 168, 260

### C

Chave 2, 17, 26, 37, 40, 54, 69, 74, 75, 82, 96, 108, 130, 139, 151, 157, 170, 190, 201, 213, 216, 224, 236, 253

Computação 95, 129, 139, 140, 141, 152, 153, 156, 190, 192, 198, 200, 211, 260

Comunicação 1, 4, 5, 14, 22, 23, 24, 28, 36, 57, 69, 70, 71, 74, 76, 77, 81, 95, 96, 97, 99, 102, 106, 111, 112, 121, 122, 124, 130, 132, 133, 226, 260

Controle 1, 2, 3, 4, 5, 9, 15, 16, 23, 24, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 64, 65, 73, 75, 77, 133, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 225, 227, 228, 234, 253, 256, 261, 264

CyberSegurança 130

### D

Desempenho 4, 34, 57, 58, 68, 69, 75, 82, 95, 99, 106, 109, 112, 113, 114, 117, 120, 122, 123, 125, 139, 142, 144, 145, 149, 153, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 188, 202, 203, 209, 215, 261

Dinâmico 1, 2, 3, 4, 5, 6, 15, 252

### E

Equação polar 96, 97, 98, 99

Equilíbrio 1, 2, 3, 4, 5, 142, 171, 172, 173, 175

### F

Fauna 17, 18, 25

Filtro de Kalman 1, 2, 5, 10, 12, 14, 15

### I

Indicadores 18, 37, 55, 69, 76, 77, 117, 141, 199

Informação 27, 28, 29, 32, 36, 58, 62, 67, 77, 111, 121, 130, 131, 133, 135, 151, 152, 153, 154, 156, 193, 199, 210, 222, 224, 225, 227, 235, 254, 255



Irrigação 40, 41, 45, 46, 47, 50, 52, 53

## L

LQR 1, 2, 5, 10, 13, 14, 15

## M

Máquinas virtuais 139, 141, 142, 143, 144

Migração 139, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 252

## N

Nuvem 139, 140, 141, 142, 145

## O

Osmose 40, 41, 43, 44, 45, 49, 51, 52

## P

Pentest 130, 134, 135, 137

Programação linear inteira mista  
139

Proteção 17, 134, 135, 172, 173, 179, 187

## R

Redes corporativas 130, 131

Robô 1, 3, 4, 5, 6, 9, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 24

## S

Segurança 21, 22, 24, 25, 30, 34, 60, 64, 72, 73, 75, 130, 131, 132, 133, 135, 137, 151, 152, 153,  
156, 158, 159, 160, 161, 164, 167, 168, 175, 177, 188, 193, 211, 235

Sem fio 41, 70, 71, 79, 95, 96, 97, 99, 102, 106

Simulink 1, 2, 3, 4, 5, 14, 15, 16

Sinalizador avifauna 17, 18

Sistemas verticais 69, 70

Super fórmula de Gielis 95, 96

## T

Topologia distribuída 69, 77

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**