

**Ernane Rosa Martins**  
(Organizador)

# **A PLURIVALÊNCIA DA ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E SEU AMPLO CAMPO DE APLICAÇÃO**

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Ernane Rosa Martins**  
(Organizador)

# **A PLURIVALÊNCIA DA ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E SEU AMPLO CAMPO DE APLICAÇÃO**

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
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 – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
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  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
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  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
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 Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
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  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

#### **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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
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  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
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 Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

# A pluralência da engenharia da computação e seu amplo campo de aplicação

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Ernane Rosa Martins

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P737 A pluralência da engenharia da computação e seu amplo campo de aplicação / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-014-5

DOI 10.22533/at.ed.014210305

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

Segundo o dicionário Aurélio a Engenharia é a “Arte de aplicar conhecimentos científicos e empíricos e certas habilitações específicas à criação de estruturas, dispositivos e processos que se utilizam para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas. A Engenharia de Computação por sua vez tem como definição ser o ramo da engenharia que se caracteriza pelo projeto, desenvolvimento e implementação de sistemas, equipamentos e dispositivos computacionais, segundo uma visão integrada de hardware e software, apoiando-se em uma sólida base matemática e conhecimentos de fenômenos físicos. Esta área estuda as técnicas, métodos e ferramentas matemáticas, físicas e computacionais para o desenvolvimento de circuitos, dispositivos e sistemas. Esta área também tem na matemática e na computação os seus principais pilares. O foco está no desenvolvimento de soluções que envolvam tanto aspectos relacionados ao software quanto à elétrica/eletrônica. O objetivo é a aplicação das tecnologias de computação na solução de problemas de Engenharia. Os profissionais desta área são capazes de atuar principalmente na integração entre software e hardware, tais como: automação industrial e residencial, sistemas embarcados, sistemas paralelos e distribuídos, arquitetura de computadores, robótica, comunicação de dados e processamento digital de sinais.

Este livro, dentro deste contexto, possibilita conhecer algumas das produções do conhecimento no ramo da Engenharia da Computação e diversos aspectos tecnológicos computacionais, que abordam assuntos extremamente importantes, tais como: a implantação de uma rede ótica passiva Gigabit (GPON); a instrumentalização da educação com recursos que permitam aos jovens sentirem-se acolhidos no ensino superior, e motivados à programação, dentre os quais neste destaca-se os jogos digitais, em especial o Robocode; aplicação do Método Trezentos, que consiste na divisão da turma em grupos de trabalho colaborativo com oito alunos; o desenvolvimento da Inteligência Artificial (IA) no Brasil; o processo de conversão de energia em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e sua relevância para a micro e minigeração distribuída; o desenvolvimento de jogos digitais; aplicação Android integrada a um circuito utilizando um Arduino Uno, que se mantém funcionando de maneira autônoma, utilizando conceitos de IoT; novas metodologia de ensino computacional nas escolas por meio de uma linguagem de programação; a implementação dos microsserviços; o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para monitorar a potência aparente de residências monofásicas de baixa tensão; testes usando os sistemas operacionais Raspbian, Ubuntu, Q4OS e Fedora; um programa que utiliza técnicas de processamento de imagens, armazenamento de dados, manipulação de gráficos e de arquivos; aplicativos em síndromes coronarianas agudas; o TheBug, software mobile que visa auxiliar os agricultores e a comunidade acadêmica

por facilitar a identificação de pragas e agentes controladores naturais; e os fundamentos da computação quântica elucidando os conceitos de emaranhamento, paralelismo e a incapacidade de produzir cópias da unidade básica da computação quântica: o bit quântico ou, simplesmente, qubit.

Deste modo, este livro tem como objetivo apresentar algumas das produções atuais deste ramo do conhecimento, e ser um guia para os Engenheiros de Computação auxiliando-os em assuntos relevantes da área, fornecendo conhecimentos que podem permitir especificar, conceber, desenvolver, implementar, adaptar, produzir, industrializar, instalar e manter sistemas computacionais, bem como perfazer a integração de recursos físicos e lógicos necessários para o atendimento das necessidades informacionais, computacionais e da automação de organizações em geral. Esta obra é significativa por ser composta por uma gama de trabalhos pertinentes da área, que permitem aos seus leitores, analisar e discutir diversos assuntos importantes.

Por fim, agradecemos a todos que contribuíram de alguma forma para a construção desta obra, principalmente aos autores por suas contribuições significativas na construção desta importante obra e desejo a todos os leitores muito sucesso, repleto de novas, excelentes e proveitosas leituras significativas, repleta de boas reflexões sobre os temas abordados.

Ernane Rosa Martins

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO “A REALIDADE AUMENTADA NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0 NAS ETAPAS DE SIMULAÇÃO, SUPERVISÃO E MANUTENÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS”

Cícero Couto de Moraes

Rodrigo Muniz Izzo

**DOI 10.22533/at.ed.0142103051**

### **CAPÍTULO 2..... 21**

A RECOMMENDER FOR RESOURCE ALLOCATION IN COMPUTE CLOUDS USING GENETIC ALGORITHMS AND SVR

Thiago Nelson Faria dos Reis

Mário Antonio Meireles Teixeira

João Dallyson Sousa de Almeida

Anselmo Cardoso de Paiva

**DOI 10.22533/at.ed.0142103052**

### **CAPÍTULO 3..... 39**

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE REDES GPON PARA IMPLEMENTAÇÃO DE FTTH EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Eduardo Bernardi

Mauro Fonseca Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.0142103053**

### **CAPÍTULO 4..... 48**

APLICAÇÃO DO ROBOCODE COMO INSTRUMENTO PARA A RECEPÇÃO DE CALOUROS E ENSINO DE PROGRAMAÇÃO DE COMPUTADORES

Fillipe Almeida Paz

Kenia Kodel Cox

**DOI 10.22533/at.ed.0142103054**

### **CAPÍTULO 5..... 60**

APLICANDO UMA METODOLOGIA DE APRENDIZAGEM COLABORATIVA NO ENSINO DE PROGRAMAÇÃO

Simone Bello Kaminski Aires

João Paulo Aires

Maria João Tinoco Varanda Pereira

Luís Manuel Alves

**DOI 10.22533/at.ed.0142103055**

### **CAPÍTULO 6..... 70**

ATLAS DA PESQUISA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) NO ESTADO DE SÃO PAULO

Laura Simões Camargo

**DOI 10.22533/at.ed.0142103056**

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>86</b>
CONVERSÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA	
Antônia Daiara de Almeida Melquíades	
Cecilio Martins de Sousa Neto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0142103057</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>92</b>
DESENVOLVIMENTO DE JOGOS EDUCATIVOS NA CONSCIENTIZAÇÃO DA PREVENÇÃO DO CÂNCER DE MAMA	
Luiz Cláudio Machado dos Santos	
Jocelma Almeida Rios	
Flávia de Jesus Figueredo	
Rafael Batista Rocha	
Maria Adélia Icó M. dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0142103058</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>110</b>
DESENVOLVIMENTO VISUAL DE JOGO SÉRIO SOBRE EDUCAÇÃO SEXUAL	
Flávia Ribeiro Albert	
Daniel Leite Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0142103059</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>130</b>
ESTUDO DA TOPOLOGIA DO SISTEMA GEOLOCAL: UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INDEPENDENTE DE GNSS	
Leticia Gatti Friolani	
Francisco Alberto Gori Fuller	
Sergio Vicente Denser Pamboukian	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030510</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>147</b>
GRUPO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE: A INTEGRAÇÃO DA ENGENHARIA DE SOFTWARE E DA USABILIDADE ORIENTADA PARA A EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO (UX)	
Daniela Gibertoni	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030511</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>158</b>
INTERNET DAS COISAS – PROTÓTIPO DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA	
Denilce de Almeida Oliveira Veloso	
Bruno Rodrigo Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030512</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>168</b>
JOGO SÉRIO PARA APOIAR NO COMBATE E PREVENÇÃO AO CÂNCER DE MAMA:	

## UMA LUTA INTERNA

Luiz Cláudio Machado dos Santos

João Pedro Darzé

Gabriela Santos

Maria Adélia Icó M. dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.01421030513**

## **CAPÍTULO 14..... 179**

### **LIBERTE A ROSA: JOGO ENIGMÁTICO COM REFLEXÃO SOBRE RELACIONAMENTOS ABUSIVOS**

Luiz Cláudio Machado dos Santos

João Paulo Lemos Cavalcanti

Jeã Tavares Caldas Filho

Maria Adélia Icó M. dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.01421030514**

## **CAPÍTULO 15..... 200**

### **LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO COMO METODOLOGIA DE ENSINO MATEMÁTICO: INSERINDO O PYTHON NAS ESCOLAS**

Franck Antônio Baía Bastos

Jaqueline Gomes Pereira

João Rodrigues Costa

Dalmi Gama

Ulisses Weyl da Cunha Costa

**DOI 10.22533/at.ed.01421030515**

## **CAPÍTULO 16..... 212**

### **MICROSSERVIÇOS**

Thiago Felipe de Sousa Castro

Felipe Gomes de Melo Vale

Fábio Henrique Fonseca de Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.01421030516**

## **CAPÍTULO 17..... 216**

### **PROTÓTIPO DE UM DINAMÔMETRO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DE FORÇA MUSCULAR UTILIZANDO ARDUINO**

Marciel Bezerra de Moura

Mateus Ânderson Barreto Duarte

Theo Martins de A. Paiva

Maycon Jean de Moura

Francisco Magno M. Sobrinho

**DOI 10.22533/at.ed.01421030517**

## **CAPÍTULO 18..... 226**

### **REGRAS DO JOGO: UMA ANÁLISE DE SEUS TIPOS E RELACIONAMENTOS**

Dalmo Stutz

**DOI 10.22533/at.ed.01421030518**

<b>CAPÍTULO 19.....</b>	<b>236</b>
<b>SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE POTÊNCIA APARENTE ALTERNATIVO CONECTADO À INTERNET</b>	
Maycon Jean de Moura	
Francisco Magno M. Sobrinho	
Theo Martins de A. Paiva	
Marciel Bezerra de Moura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030519</b>	
<b>CAPÍTULO 20.....</b>	<b>245</b>
<b>SISTEMAS OPERACIONAIS PARA UTILIZAÇÃO DO RASPBERRY PI COMO SUBSTITUTO A COMPUTADORES TRADICIONAIS</b>	
Guilherme Godoy de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030520</b>	
<b>CAPÍTULO 21.....</b>	<b>257</b>
<b>SOFTWARE DE ANÁLISE DE IMAGENS HISTOLÓGICAS EM QUADROS DE INFECÇÃO PARA TESTES DE FÁRMACOS ANTIMICROBIANOS</b>	
Gustavo Behnck Cardoso	
Isabela Luz Pereira	
Victor Jorge Carvalho Chaves	
Hélio Esperidião	
Vitor Andrade	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030521</b>	
<b>CAPÍTULO 22.....</b>	<b>270</b>
<b>SOFTWARES DE “SMARTPHONES” E APLICATIVOS (APPS) NO CENÁRIO DE SÍNDROMES CORONARIANAS AGUDAS: UMA REVISÃO DA LITERATURA</b>	
Mauro Guimarães Albuquerque	
Juan Carlos Montano Pedroso	
José da Conceição Carvalho Júnior	
Matheus Rangel Marques	
Rayane Sales Roza	
Lydia Masako Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030522</b>	
<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>279</b>
<b>THEBUG: SOFTWARE MOBILE PARA IDENTIFICAÇÃO DE INSETOS</b>	
Gabriel Al-Samir Guimarães Sales	
Edson Almeida Silva Júnior	
Adeilson Marques da Silva Cardoso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01421030523</b>	
<b>CAPÍTULO 24.....</b>	<b>289</b>
<b>UM ENSAIO SOBRE OS FUNDAMENTOS DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA</b>	
Fernanda Bernardes da Silva Melo	

Ronan Silva Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.01421030524**

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>302</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>303</b>

## UM ENSAIO SOBRE OS FUNDAMENTOS DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Fernanda Bernardes da Silva Melo

Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de graduação em Engenharia da Computação  
João Monlevade – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9855188695494610>

### Ronan Silva Ferreira

Universidade Federal de Ouro Preto,  
Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas  
João Monlevade – Minas Gerais  
<https://orcid.org/0000-0002-7623-1361>

**RESUMO:** Uma das áreas do conhecimento mais relevante na atualidade é a computação quântica. Para se ter uma ideia, o verbete *Quantum Computation* aparece 4.750 vezes na base de dados acadêmica do Google<sup>1</sup>, levando em conta apenas o ano de 2021. Pode-se dizer que este tema une ao menos duas grandes áreas: a física quântica e a ciência da computação. Particularmente, há uma interessante interface entre essas áreas: a inteligência artificial. Olhando especificamente para esta interface, temos dois aspectos cruciais: o aprendizado de máquina e a tomada de decisões. Estes temas terão profundas implicações com o que chamamos hoje de “supremacia quântica” - executar um algoritmo em um computador quântico que seja capaz de resolver um problema com uma aceleração “super-polinomial”,

comparada aos computadores clássicos. Neste ensaio, buscamos destacar os fundamentos da computação quântica elucidando os conceitos de emaranhamento, paralelismo e a incapacidade de produzir cópias da unidade básica da computação quântica: o bit quântico ou, simplesmente, qubit.

**PALAVRAS-CHAVE:** Computação quântica, Informação quântica, Emaranhamento quântico.

### AN ESSAY ON THE FUNDAMENTALS OF QUANTUM COMPUTING

**ABSTRACT:** One of the most relevant areas of knowledge today is quantum computing. To give you an idea, the entry *Quantum Computation* appears 4.750 times in Google’s academic database, considering only the year 2021. It can be said that this theme unites at least two major areas: quantum physics and science of computing. In particular, there is an interesting interface between these areas: artificial intelligence. Looking specifically at this interface, we have two crucial aspects: machine learning and decision making. These themes will have profound implications for what we now call “quantum supremacy” - running an algorithm on a quantum computer that is capable of solving a problem with “super polynomial” acceleration, compared to classic computers. In this essay, we highlight the fundamentals of quantum computation elucidating the concepts of entanglement, parallelism and disability to produce copies of the basic unit of quantum computation: the quantum bit or, simply, qubit.

**KEYWORDS:** Quantum computation, Quantum information, Quantum entanglement.

<sup>1</sup> <https://scholar.google.com/>

## 1 | INTRODUÇÃO

Vinte e seis anos separam o lançamento do IBM 5150 (ou, simplesmente, IBM PC) ao momento em que os iPhones chegavam aos bolsos de milhares de pessoas, pouco depois de 9 de Janeiro de 2007<sup>2</sup>. Enquanto o conceito de arquitetura aberta da linha de produção do IBM PC inspirou a série *Halt and Catch Fire*, a invasão na cultura pop do tema Inteligência Artificial (IA) é algo extraordinário. Desde o longa *Metropolis* (1927)<sup>3</sup>, passando por *Ex-Machina*<sup>4</sup> e o relacionamento *Ser Humano IA* (sem sinal de perda de popularidade para o tema) parecem nos preparar para algo maior. E a coisa tende a aumentar no universo ficcional, ao menos levando em conta os recentes desfechos da computação quântica. Mas será mesmo ficção científica?

Recentemente, a Google anunciou um feito que já podemos chamar de histórico. A gigante de tecnologia afirmou ter alcançado a supremacia quântica: executar um algoritmo em um computador quântico que seja capaz de resolver um problema com uma aceleração “super-polinomial”, comparada aos computadores clássicos (PRESKILL, 2012). Com o seu chip *Sycamore*, a empresa teria realizado uma operação matemática em 200 segundos que, por sua vez, levaria algo como 10 mil anos para ser executada em um moderno super computador (ARUTE et al., 2019), desses que já nos impressionam bastante. O resultado é contestado pela IBM, que afirma ser possível o cálculo em um de seus computadores clássicos em pouco mais de 48h, o que enfraqueceria a marca de “supremacia” (PEDNAULT et al., 2019) – afinal, qualquer um de nós poderia esperar o fim de um trabalho computacional de dois dias... Mas, o que está mesmo evidenciada é a afirmação de uma nova era para a computação. Nas próximas seções, iremos discutir alguns dos fundamentos da computação quântica.

## 2 | QUBIT

Um qubit  $|\psi\rangle$  pode ser entendido com *um sistema quântico de dois níveis* (COHEN-TANNOUDJI; LALOE; DIU, 2019) com um grau de liberdade, que pode assumir um de dois estados, digamos  $|0\rangle$  ou  $|1\rangle$ <sup>5</sup>. Na prática, podemos tomar um sistema desses como sendo a polarização de um fóton ou o *spin* de uma partícula, por exemplo. Quando medimos o valor de um qubit, encontramos exatamente o que esperamos de um bit (clássico): 0 ou 1. A vantagem da versão quântica como unidade lógica de computação é o princípio de superposição que governa esses sistemas, que permite com que sua unidade básica esteja em mais de um estado simultaneamente, e não apenas 0 ou 1. Nesse sentido, o qubit é a unidade básica de computação, não o bit. Um qubit pode estar em uma infinidade de estados de superposição durante os cálculos computacionais. É uma espécie de

2 No Brasil, em 26 de setembro de 2008, com o iPhone 3G.

3 Do austríaco Fritz Lang, baseado no livro de Thea von Harbou.

4 Escrito e dirigido por Alex Garland.

5 Dirac notation.

paralelismo intrínseco. Podemos escrever um estado qualquer na forma

$$\begin{aligned}
 |\psi\rangle &= a|0\rangle + b|1\rangle \\
 &= a \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + b \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

sendo  $a$  e  $b$  números complexos<sup>6</sup>, em que  $|a|^2 + |b|^2 = 1$  e na segunda linha usamos a notação matricial, dos vetores coluna. Por essa razão, dizemos que a probabilidade de obtermos o estado  $|0\rangle$  é de  $|a|^2$ , enquanto para o estado  $|1\rangle$  a probabilidade é igual a  $|b|^2$ . Aqui,  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$  são vetores unitários que compõem uma base ortonormal: não há projeção de um sobre o outro. Dito de outra forma, se um qubit é medido em  $|0\rangle$ , então não foi medido em  $|1\rangle$ . Eu sei... É óbvio. Mas ajuda a enxergar a representação matemática a seguir.

Podemos representar o estado  $|\psi\rangle = |0\rangle$  como um vetor na direção  $\theta = 0$ , no sentido  $+\hat{x}$  (horizontal, para direita), enquanto  $|\psi\rangle = |1\rangle$  na direção  $\theta = \pi/2$ , no sentido  $+\hat{y}$  (vertical, para cima) - veja a figura abaixo.

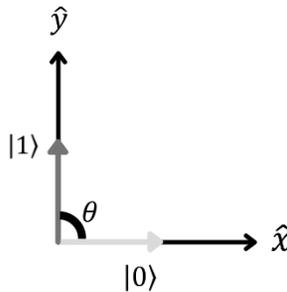


Figura 1 - Base computacional

Fonte: Autores.

Dessa forma, se rotacionarmos essa base de um ângulo  $\alpha$ , o efeito será

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ -\sin \alpha \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \end{pmatrix}.$$

Observe que se girarmos de  $\alpha = \pi/2$ , teremos  $\{|1\rangle, |0\rangle\}$ . Isso nada mais é que a base com componentes trocadas:  $|0\rangle$  passa à vertical pra baixo, enquanto  $|1\rangle$  horizontal para a direita. Dito de outra forma, todo o espectro de possibilidades pode ser mapeado em  $\theta \in [0, \pi]$  e  $\alpha \in [0, \pi/2]$ . Disso decorre que  $\theta = 2\alpha$  e, de forma geral, podemos escrever:

<sup>6</sup> Um número complexo possui a forma  $z=x+iy$ , em que  $i = \sqrt{-1}$  é um operador de rotação no plano complexo *Im. vs. Re.*

$$|\psi\rangle = \alpha \begin{pmatrix} \cos \theta/2 \\ -\sin \theta/2 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} \sin \theta/2 \\ \cos \theta/2 \end{pmatrix}.$$

### 3 | EMARANHAMENTO

Os qubits podem ser trabalhados de maneira conjunta. Neste ponto, a vantagem em se trabalhar com a versão quântica do bit é notória. Por exemplo, com dois bits, podemos descrever quatro estados: 00, 01, 10 e 11. Como o qubit pode estar em um estado de superposição, a mesma descrição desses quatro estados pode ser feita com apenas um qubit. A relação qubit *versus* bit para descrever um mesmo número de estados é descrita pela expressão  $bits = 2^{qubits}$  (ver Tabela 1).

qubit	bit
1	2
2	4
4	16
8	256
10	1.024
$n$	$2^n$

Tabela 1 - Correspondência entre o número de bits e qubits para descrever um mesmo número de estados.

Fonte: Autores.

A combinação de dois qubits é descrita pelo produto tensorial de dois estados,  $|\psi\rangle \otimes |\phi\rangle = |\psi\phi\rangle$ . Para exemplificarmos isso, vamos usar o produto tensorial de uma das duas bases  $\theta = 0^\circ$  com ela mesma:

$$|00\rangle = \begin{bmatrix} \alpha_{11} = 1 \\ \alpha_{21} = 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \beta_{11} = 1 \\ \beta_{21} = 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11}\beta_{11} = 1 \\ \alpha_{11}\beta_{21} = 0 \\ \alpha_{21}\beta_{11} = 0 \\ \alpha_{21}\beta_{21} = 0 \end{bmatrix}.$$

Portanto, a base do novo espaço vetorial combinado será  $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$  ou

$$\left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \right).$$

Com efeito, um estado qualquer deste espaço combinado pode ser descrito na forma

$$|\psi\rangle = a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle.$$

sendo  $\psi$  aqui uma superposição dos estados lógicos da base, em que  $a, b, c, d$  são amplitudes de probabilidade que cada um desses estados possa ocorrer. Dito de outra forma, devemos ter  $a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = 1$ .

Até aqui podemos afirmar que dois qubits estejam *combinados*, mas não necessariamente *emaranhados*. A propriedade do emaranhamento irá depender da relação lógica  $ad \neq bc$  entre as amplitudes de probabilidade “puras”,  $a$  e  $d$ , e as “mistas”  $b$  e  $c$ . Para ilustrar o emaranhamento, vamos imaginar duas moedas quânticas,  $M1$  e  $M2$ , que naturalmente possuem dois níveis:  $|C\rangle$  e  $|K\rangle$ , respectivamente, *Cara* e *Coroa*. O estado combinado dessas duas moedas quânticas é dado por  $|M1\ M2\rangle = m|CC\rangle + n|CK\rangle + p|KC\rangle + q|KK\rangle$ . Para que essas moedas estejam emaranhadas, devemos ter  $mq \neq np$ . Por exemplo,  $m = n = 1/2$ ,  $p = 1/\sqrt{2}$  e  $q = 0$ . Imagine agora que, após serem emaranhadas, a moeda  $M1$  seja entregue a Alice e  $M2$  entregue a Bob, que estão separados geograficamente. Portanto, o primeiro qubit em  $|M1\ M2\rangle$  está com Alice e o segundo com Bob. Do ponto de vista matemático, e de Alice, temos:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|C_A\rangle\left(\frac{1}{\sqrt{2}}|C_B\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|K_B\rangle\right) + \frac{1}{\sqrt{2}}|K_A\rangle(1|C_B\rangle + 0|K_B\rangle),$$

enquanto do ponto de vista de Bob

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|C_B\rangle\left(\frac{1}{\sqrt{2}}|C_A\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|K_A\rangle\right) + \frac{1}{\sqrt{2}}|K_B\rangle(1|C_A\rangle + 0|K_A\rangle).$$

Observe que Alice pode encontrar sua moeda no estado  $|C_A\rangle$  ou  $|K_A\rangle$  com 50%, uma vez que as amplitudes de probabilidades são iguais a  $1/\sqrt{2}$  para ambos os casos. Entretanto, esses resultados para a moeda de Alice acarretam probabilidades diferentes para que Bob encontre sua moeda em um dos estados  $|C_B\rangle$  ou  $|K_B\rangle$ . Se Alice encontrar, digamos, o estado  $|C_A\rangle$ , Bob pode encontrar sua moeda no estado  $|C_B\rangle$  ou  $|K_B\rangle$ , ambos com 50% de chance. É o que nos diz o primeiro termo da equação. Lembre-se que se Alice encontra  $|C_A\rangle$ , o segundo termo vai a zero:

$$|C_A\rangle \rightarrow \left(\frac{1}{\sqrt{2}}|C_B\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|K_B\rangle\right).$$

Por outro lado, se Alice encontra  $|K_A\rangle$ , Bob só pode estar com sua moeda no estado  $|C_B\rangle$ , uma vez que nesta situação a probabilidade de Bob encontrar sua moeda em  $|K_B\rangle$  é nula,

$$|K_A\rangle \rightarrow |C_B\rangle.$$

O emaranhamento, importante pilar da computação quântica, é uma consequência direta do princípio de superposição. Com ele, podemos fazer previsões sobre um determinado sistema  $A$  a partir de um sistema  $B$ , mesmo se eles estiverem separados a distâncias muito grandes, o que permite que informações sejam transmitidas a partir de

qubits.

Podemos obter um estado emaranhado a partir da base padrão, usando o Circuito de Bell, que retorna o que é conhecida como a *base de Bell*. Esse circuito é composto por uma porta lógica *Hadamard*<sup>7</sup> e uma porta CNOT, de maneira que a entrada é uma entrada padrão  $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$ , e a saída é do tipo:

$$\text{Bell}(|00\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle),$$

$$\text{Bell}(|01\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle),$$

$$\text{Bell}(|10\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle),$$

$$\text{Bell}(|11\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle).$$

Para verificar que realmente trata-se de estados emaranhados, escrevemos:

$$|a\rangle = \alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle,$$

$$|b\rangle = \alpha_2|0\rangle + \beta_2|1\rangle.$$

Em que  $\alpha$  e  $\beta$  são amplitudes de probabilidade. Fazendo o produto tensorial

$$\begin{aligned} |a\rangle \otimes |b\rangle &= (\alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle) \otimes (\alpha_2|0\rangle + \beta_2|1\rangle) \\ &= \alpha_1\alpha_2|00\rangle + \alpha_1\beta_2|01\rangle + \alpha_2\beta_1|10\rangle + \beta_1\beta_2|11\rangle. \end{aligned}$$

Vamos comparar este resultado com o estado de Bell  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$ . Observe que se fizermos  $\alpha_1\beta_2 = 0$ , necessariamente,  $\alpha_1$  é 0 ou  $\beta_2$  é 0, o que mostra que é impossível encontrar coeficientes tais que o estado final possa ser representado por um produto tensorial, o que é característico do estado emaranhado. Além disso, podemos perceber que as previsões se confirmam, uma vez que em  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A|1\rangle_B + |1\rangle_A|0\rangle_B)$  se o qubit *A* for medido e o resultado encontrado for “0”, o resultado encontrado por *B* será “1” e vice-versa.

## 4 | TEOREMA DA NÃO-CLONAGEM

Nos computadores clássicos, podemos facilmente copiar informações de um lugar para outro, basta utilizarmos um CD ou disco rígido. Porém, nos computadores quânticos, é impossível a clonagem de informação (WOOTTERS; ZUREK, 1982).

Podemos demonstrar a cópia de um bit em um sistema clássico a partir da porta lógica “XOR”, ou “ou exclusivo”.

---

7 A representação matricial da porta *Hadamard* é dada por  $\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ .

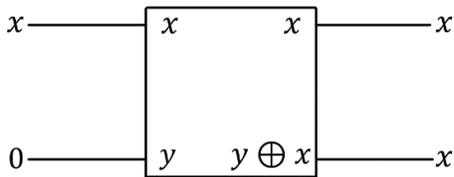


Figura 2 - Clonagem de um bit a partir da porta lógica XOR.

Fonte: Autores.

Observe que neste caso, o bit  $y$ , que pode assumir valores 0 ou 1, realmente foi clonado, pois quando se aplica a porta XOR em um bit 0 e uma variável qualquer, pela tabela-verdade, a saída assumirá sempre o valor arbitrário da variável. Analogamente para os sistemas quânticos, temos a porta lógica CNOT. E se tentarmos clonar um estado quântico da mesma forma que clonamos um bit?

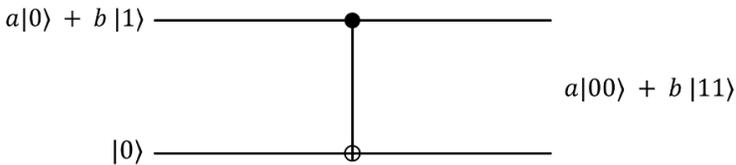


Figura 3 - Clonagem de um estado quântico a partir da CNOT.

Fonte: Autores.

A porta CNOT atua em dois bits simultaneamente, usando primeiro bit como controle. Se seu valor for 0 ela não faz nada, se for 1, ela altera o valor do segundo bit:

$$\begin{aligned}
 |00\rangle &\rightarrow |00\rangle, \\
 |01\rangle &\rightarrow |01\rangle, \\
 |10\rangle &\rightarrow |11\rangle, \\
 |11\rangle &\rightarrow |10\rangle.
 \end{aligned}$$

Dessa maneira, observe que a informação que  $a$  e  $b$  nos fornece, é a amplitude de probabilidade de que cada estado ocorra, e após a medição, todas as informações que a antecedem são perdidas, inclusive  $a$  e  $b$  iniciais.

Um modo mais formal para demonstrar o Teorema da Não-Clonagem é lembrando do princípio da linearidade da superposição: se dois estados são solução de um sistema, então a combinação linear desses dois estados também é uma solução. Suponha que desejemos clonar um estado hipotético  $|\phi\rangle = \alpha_0|0\rangle + \beta_0|1\rangle$ . Para realizar a clonagem, que é uma cópia

perfeita, usaremos um novo sistema quântico idêntico no mesmo espaço de Hilbert<sup>8</sup>, com um estado inicial  $|\psi\rangle = \alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle$ . Este novo estado é independente do estado  $|\phi\rangle$ . O estado composto por  $|\phi\rangle$  e  $|\psi\rangle$  é o produto tensorial entre eles, que chamaremos de  $|s\rangle$

$$|s\rangle = |\phi\rangle \otimes |\psi\rangle = |\phi\rangle|\psi\rangle.$$

Agora, devemos fazer uma observação: imagine que exista um operador capaz de copiar perfeitamente o estado de um qubit. O clone do estado  $|\phi\rangle$  seria  $|\phi\phi\rangle$

$$|\phi\phi\rangle = (\alpha_0|0\rangle + \beta_0|1\rangle)(\alpha_0|0\rangle + \beta_0|1\rangle).$$

O clone do estado  $|\psi\rangle$  seria  $|\psi\psi\rangle$

$$|\psi\psi\rangle = (\alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle)(\alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle).$$

Então, se esses dois estados puderam ser clonados, a saída para a superposição deles deveria ser a superposição das saídas  $|O_{output}\rangle = \alpha|\phi\phi\rangle + \beta|\psi\psi\rangle$ . Mas o que queremos na verdade é:

$$|s\rangle|s\rangle = (\alpha|\phi\rangle + \beta|\psi\rangle)(\alpha|\phi\rangle + \beta|\psi\rangle).$$

Essa é uma cópia perfeita de  $|s\rangle$ . Desta maneira podemos observar que a impossibilidade de clonagem existe pela exigência de linearidade da superposição, pois o resultado que obteríamos, se houvesse um operador capaz de clonar perfeitamente um estado combinado, seria duas vezes este estado, que não corresponde a combinação linear dos estados iniciais.

Uma consequência deste teorema é a criptografia. Suponhamos que Alice queira enviar várias informações através de qubits para Bob, que atuaria como receptor nesta hipótese. É possível que haja algum outro receptor a espera de obter informações de terceiros. Mesmo que este receptor indesejado consiga, em uma hipótese remota, clonar um estado específico, ele não consegue ter acesso às informações enviadas.

## 5 | PARALELISMO QUÂNTICO

Em um processador clássico multinúcleo, o sistema operacional trata cada núcleo como um processador diferente e isso permite que os vários núcleos trabalhem simultaneamente resolvendo cada um, uma instrução diferente. Ora, pensando por esse lado, pelo princípio de superposição, um sistema quântico pode estar simultaneamente em mais de um estado, ou seja, um computador quântico possui um grau de paralelismo natural, já que um qubit pode estar em um estado de superposição coerente<sup>9</sup> entre os dois

8 É um espaço vetorial dotado de produto interno, ou seja, com noções de distância e ângulos. Todo produto interno em um espaço vetorial real ou complexo, dá origem a uma norma:  $\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle}$ . Chamamos  $H$  um espaço de Hilbert se estiver completo com relação a essa regra.

9 Uma combinação linear de dois estados:  $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ .

estados tradicionais de um bit (0 e 1). Uma boa maneira para exemplificar e quantificar o paralelismo quântico, é por meio do algoritmo de *Deutsch*.

Seja a função  $f(x)$ , em que  $x$  possa assumir os valores binários 0 ou 1, definimos as funções  $f(0)$  e  $f(1)$  tais que:

$$\text{Solução} = \begin{cases} f(0) = 0 & \text{e } f(1) = 0, \\ f(0) = 1 & \text{e } f(1) = 1. \end{cases}$$

Desta forma, podemos classificar essa função como sendo constante quando  $f(1)$  e  $f(0)$  e balanceada quando  $f(0) \neq f(1)$ . Com a computação clássica, resolveríamos esse problema comparando  $x$  e  $f(x)$  sucessivamente. Esse algoritmo seria da seguinte forma:

Se  $x = 0$  e  $f(x) = 0$

Se  $x_1 = 1$  e  $f(x_1) = 0$

então a função é constante

senão

então a função é balanceada

Se  $x = 0$  e  $f(x) = 1$

Se  $x_1 = 1$  e  $f(x_1) = 1$

então a função é constante

senão

então a função é balanceada.

O computador fará comparações até que o problema seja solucionado. Note que ele precisa verificar sempre, pelo menos uma vez, os valores de  $x$  e  $f(x)$ . Isso tem um custo computacional, tanto de processamento, quanto de memória. Na computação clássica, quando analisamos um algoritmo para conhecer seu gasto operacional, levamos em consideração as principais operações que serão realizadas por ele. Em um algoritmo como esse, a comparação feita entre a função e o seu resultado é a principal operação executada. Deste modo, o computador realiza duas operações para cada possível valor de  $x$ .

Para apenas a verificação de um valor de  $x$ , o número de operações parece irrisório. Porém, imagine que precisaremos verificar várias funções, em que  $x$  e  $f(x)$  podem assumir tanto 0 quanto 1. Duas operações para cada valor já não parece mais tão insignificante.

O algoritmo de *Deutsch* propõe uma alternativa na computação quântica para a solução muito mais eficaz deste problema. Para demonstrá-lo, o primeiro passo é construir a operação unitária  $U_f$  que transforma o estado  $|x\rangle|y\rangle$  em  $|x\rangle|y \oplus f(x)\rangle$ , em que  $\oplus$  é conhecido como "ou exclusivo" ou adição módulo 2<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Uma forma de aritmética utilizada na computação onde não existe a propagação de bits, ou seja, a soma de 1 com 1 resulta em 0, e não em 10, pois não há *carry* (sobe 1) entre as casas binárias na operação.

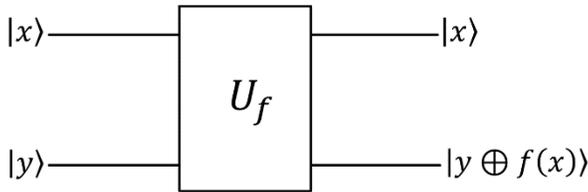


Figura 4 - Operador  $U_f$ .

Fonte: Autores.

Para melhor visualização, se aplicarmos  $U_f$  em uma entrada padrão, ou seja, os estados da base  $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$  obtemos:

$$U_f|00\rangle = |0\rangle|0 \oplus f(0)\rangle,$$

$$U_f|01\rangle = |0\rangle|1 \oplus f(0)\rangle,$$

$$U_f|10\rangle = |1\rangle|0 \oplus f(1)\rangle,$$

$$U_f|11\rangle = |1\rangle|1 \oplus f(1)\rangle.$$

O diferencial da computação quântica, é que ela nos permitirá, em vez de simplesmente iniciar com uma entrada padrão, usar portas lógicas quânticas para preparar uma entrada superposta de  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ . Para preparar os qubits de entrada em uma superposição, usamos uma porta *Hadamard* atuando em cada um deles. Desse modo o operador  $U_f$  atua sobre o estado superposto, como mostra a figura 5, que apresenta o circuito responsável pela execução do algoritmo de *Deutsch*.

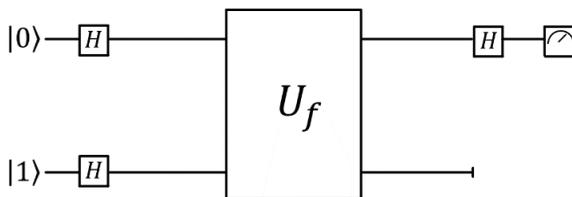


Figura 5 - Circuito de Deutsch.

Fonte: Autores.

Uma porta *Hadamard* prepara o primeiro qubit  $|0\rangle$  na superposição  $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$  e a outra prepara o segundo qubit  $|1\rangle$  em  $(|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$ . Para facilitar a visualização e a execução manual do algoritmo, primeiramente aplicaremos a operação  $U_f$  no estado generalizado  $|x\rangle$

$(|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$ . Desta forma, testaremos os possíveis valores de 0 e 1 a fim de encontrar uma equação geral. Teremos que:

- Se  $f(0) = 0$  e  $f(1) = 0$ 
  - Para  $x = 0$

$$U_f |0\rangle \frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{|0\rangle(|0 \oplus f(0)\rangle - |0\rangle|1 \oplus f(0)\rangle)}{\sqrt{2}}.$$

Como neste caso,  $f(0) = 0$ , então  $0 \oplus f(0) = 0$  e  $1 \oplus f(0) = 1$ . Prosseguindo, obtemos:

$$U_f \frac{|0\rangle(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}} = \frac{(|00\rangle - |01\rangle)}{\sqrt{2}}.$$

- Para  $x = 1$

$$U_f |1\rangle \frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{|1\rangle(|0 \oplus f(1)\rangle - |1\rangle|1 \oplus f(1)\rangle)}{\sqrt{2}}$$

$$U_f \frac{|1\rangle(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}} = \frac{(|10\rangle - |11\rangle)}{\sqrt{2}}.$$

Realizando as mesmas operações para  $f(0) = 1$  e  $f(1) = 1$ ,  $f(0) = 0$  e  $f(1) = 1$  e  $f(0) = 1$  e  $f(1) = 0$ , encontramos uma equação geral para demonstrar como o computador quântico pode ser capaz calcular a função em apenas uma execução. Assim, devemos observar o que existe em comum entre todos os resultados encontrados ao aplicar o operador  $U_f$  nas entradas possíveis. Analisando, chegamos à conclusão que qualquer entrada pode ser descrita seguindo a equação:

$$(-1)^{f(x)} |x\rangle \frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}}.$$

Com a equação generalizada, vamos verificar agora, a entrada superposta obtida através portas *Hadamard* na entrada do circuito de Deutsch, como mostra a figura 5. Como o estado inicial de  $|x\rangle|y\rangle$ , é  $|0\rangle|1\rangle$ , a entrada que o operador  $U_f$  recebe é um estado que pode ser descrito como:

$$|I_{input}\rangle = \left[ \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} \right] \otimes \left[ \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \right].$$

Calculando o produto tensorial, temos:

$$|I_{input}\rangle = \frac{|0\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle) + \frac{|1\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle).$$

Assim, chegamos em um estado de superposição linear de  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ , em que cada porção da equação é equivalente à probabilidade de o valor da entrada  $x$  ser 0 ou 1. Com isso, o próximo passo é substituir esses valores na equação generalizada:

$$U_f |I_{input}\rangle = (-1)^{f(0)} \frac{|0\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle) + (-1)^{f(1)} \frac{|1\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle).$$

Se a função é constante, ou seja,  $f(1) = f(0)$ , os fatores  $(-1)^{f(0)}$  e  $(-1)^{f(1)}$  tornam-se um fator comum, já que os expoentes são iguais, sejam eles 0 ou 1. Sendo um múltiplo da soma, podemos colocá-lo em evidência. E já que são iguais, pode ser tanto  $f(0)$  quanto  $f(1)$ , mudando apenas a escrita

$$U_f |I_{input}\rangle = (-1)^{f(0)} \left[ \frac{|0\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle) + \frac{|1\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle) \right].$$

A porção da equação que está dentro dos colchetes é exatamente a entrada superposta gerada através das portas *Hadamard* no começo do circuito. Assim, podemos reescrevê-la, já que o primeiro qubit ainda deve passar por uma porta *Hadamard* ao final do circuito, para que possa ser medido

$$U_f |I_{input}\rangle = (-1)^{f(0)} \left[ \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} \right] \left[ \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \right].$$

Rearranjado, o estado gerado pelo operador  $U_f$  está pronto para passar pela porta *Hadamard*. Ora, se observarmos na figura 5, apenas o primeiro qubit passará pela porta, ou seja, apenas  $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ . Este é o estado  $|0\rangle$  quando aplicada *Hadamard*. Dessa forma, o que acontece quando aplicamos novamente a porta é justamente o processo inverso, e o qubit volta ao seu valor.

Se a função é balanceada, ou seja  $f(0) \neq f(1)$ , os fatores  $(-1)^{f(0)}$  e  $(-1)^{f(1)}$ , são diferentes, onde  $f(0) = 0$  e  $f(1) = 1$  ou  $f(0) = 1$  e  $f(1) = 0$ . Desta forma, para saber o que acontece com a equação quando aplicada a porta *Hadamard*, calculamos:

- Se  $f(0) = 0$  e  $f(1) = 1$

$$U_f |I_{input}\rangle = (-1)^0 \frac{|0\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle) + (-1)^1 \frac{|1\rangle}{2} (|0\rangle - |1\rangle)$$

$$U_f |I_{input}\rangle \left[ \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \right] \left[ \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \right].$$

Observe que agora, a porta *Hadamard* será aplicada ao primeiro qubit  $(|0\rangle - |1\rangle)/\sqrt{2}$ , e esse estado é a superposição criada ao aplicar-se essa porta ao qubit de estado inicial  $|1\rangle$ . Assim, a operação inversa será realizada e o qubit retornará ao valor  $|1\rangle$ . O mesmo ocorre quando fazemos  $f(0) = 1$  e  $f(1) = 0$ , adicionando um coeficiente  $(-1)$ .

Feito isso, a conclusão em que chegamos é que quando a função é constante, ao final do algoritmo medimos  $|0\rangle$ , e quando a função é balanceada, medimos  $|1\rangle$ . Observe que  $f(0) \oplus f(1) = 0$  se  $f(0) = f(1)$  e  $f(0) \oplus f(1) = 1$  se  $f(0) \neq f(1)$ . Com apenas uma medida, o computador quântico responde se a função é constante ou balanceada, enquanto o computador clássico necessitaria de duas medidas para cada  $x$ .

## 6 | CONCLUSÃO

A busca pela compreensão dos fundamentos da Computação Quântica é importante por ser um tema em evidência, com implicações para o futuro da tecnologia. Neste ensaio, abordamos alguns aspectos essenciais que são a base para a computação quântica. Graças ao princípio de superposição, propriedade que faz com que a computação quântica tenha um grau de paralelismo natural, há uma grande promessa envolvendo a inteligência artificial e o aprendizado de máquina. Além disso, a impossibilidade de cópia e a capacidade de troca de informações permitida através do emaranhamento abrem portas para uma criptografia mais segura e eficaz.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Iniciação Científica PIVIC/UFOP.

## REFERÊNCIAS

PRESKILL, J. **Quantum computing and the entanglement frontier**. arXiv preprint arXiv:1203.5813, 2012.

ARUTE, F., ARYA, K., BABBUSH, R. et al. **Quantum supremacy using a programmable superconducting processor**. Nature 574, 505–510, 2019.

PEDNAULT, E. et al. **Leveraging secondary storage to simulate deep 54-qubit sycamore circuits**. arXiv preprint arXiv:1910.09534, 2019.

WOOTTERS, W., ZUREK, W. **A single quantum cannot be cloned**. Nature 299, 802–803, 1982.

BENENTI, G., CASATI, G., STRINI, G. **Principles of quantum computation and information**. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005.

LUO, M.-X. **A nonlocal game for witnessing quantum networks**. Nature Publishing Group, v. 5, n. 1, p. 1–6, 2019.

OHEN-TANNOUDJI, C.; LALOE, F.; DIU, B. **Quantum mechanics**. Wiley-Vch, 2019.

NIELSEN, M., CHUANG I. **Quantum Computation and Quantum Information**. Cambridge University Press, 2010.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**ERNANE ROSA MARTINS** - Doutor em Ciência da Informação com ênfase em Sistemas, Tecnologias e Gestão da Informação, na Universidade Fernando Pessoa, em Porto/Portugal. Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, possui Pós-Graduação em Tecnologia em Gestão da Informação, Graduação em Ciência da Computação e Graduação em Sistemas de Informação. Professor de Informática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG (Câmpus Luziânia) ministrando disciplinas nas áreas de Engenharia de Software, Desenvolvimento de Sistemas, Linguagens de Programação, Banco de Dados e Gestão em Tecnologia da Informação. Pesquisador do Núcleo de Inovação, Tecnologia e Educação (NITE), certificado pelo IFG no CNPq. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1543-1108>. Personal homepage: <https://ernane.martins.wordpress.com/>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmo 22, 23, 28, 29, 32, 35, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 202, 207, 262, 289, 290, 297, 298, 300

Algoritmo genético 23, 28, 32, 35

Aplicativos 21, 99, 200, 215, 246, 249, 250, 252, 254, 255, 270, 271, 272, 275, 276, 277, 281

Aprendizado de máquina 21, 22, 23, 27, 289, 301

Arduino 158, 159, 160, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 216, 217, 219, 221, 239

Armazenamento de dados 163, 164, 248, 257

Arquitetura 23, 24, 30, 36, 44, 45, 46, 47, 75, 148, 150, 151, 164, 212, 213, 214, 215, 246, 290

Automação 1, 3, 5, 7, 19, 49, 161, 164, 166

### B

Banco de dados 111, 163, 164, 165, 239, 243, 259, 263, 281, 282, 283, 287, 302

Banda larga 40, 44, 46

Benchmarking 255

### C

Câncer de mama 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 177

Código aberto 189, 193, 239, 281, 287

Computação 21, 22, 23, 34, 37, 48, 49, 50, 52, 53, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 73, 149, 150, 156, 157, 160, 163, 169, 202, 205, 206, 210, 211, 214, 276, 277, 289, 290, 293, 297, 298, 301, 302

Computação em nuvem 21, 22, 23, 34

Computação quântica 289, 290, 293, 297, 298, 301

Computadores 21, 48, 49, 53, 55, 59, 101, 162, 166, 168, 201, 202, 211, 245, 246, 248, 249, 250, 252, 254, 255, 271, 275, 289, 290, 294

Conversão de energia 86, 87, 89, 91

Criptografia 296, 301

### D

Dados 4, 12, 13, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 49, 60, 68, 71, 74, 75, 82, 85, 86, 93, 103, 108, 111, 112, 130, 131, 133, 135, 136, 137, 138, 140, 154, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 169, 177, 180, 186, 201, 202, 205, 208, 213,

215, 217, 218, 220, 221, 225, 229, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 246, 248, 257, 258, 259, 260, 263, 265, 266, 267, 270, 272, 275, 276, 277, 279, 280, 281, 282, 283, 285, 287, 289, 302

Dispositivo 4, 16, 88, 99, 150, 161, 163, 198, 222, 232, 236, 237, 240, 241, 242, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 252, 254, 255

Dispositivos móveis 2, 3, 4, 98, 158, 177, 198, 271

## E

Eletrônica de potência 86

Energia 23, 50, 52, 75, 78, 86, 87, 89, 91, 158, 161, 166, 236, 237, 239, 244

Engenharia de software 147, 148, 149, 152, 155, 156, 215, 281, 302

Ensino 3, 48, 50, 51, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 69, 93, 96, 111, 177, 182, 183, 186, 200, 201, 202, 203, 205, 206, 208, 210, 211, 245, 246, 249, 254, 276, 287

Evolução 43, 66, 71, 212, 213, 233, 258, 259

## G

Geolocal 130, 131, 132, 133, 135, 145, 146

Grupos de pesquisa 147, 155, 156, 187

## I

Indústria 4.0 1, 2, 5, 18, 81, 158, 159

Informação quântica 289

Inovação 70, 72, 73, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 160, 166, 167, 215, 302

Inteligência artificial 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 82, 83, 84, 150, 159, 166, 289, 290, 301

Interação humano-computador 147, 148, 149, 152, 154, 156

Interface 2, 3, 4, 5, 12, 14, 23, 34, 54, 110, 111, 117, 118, 119, 120, 124, 134, 154, 155, 156, 164, 165, 192, 205, 216, 220, 232, 233, 234, 249, 250, 254, 276, 289

Interface gráfica 5, 14, 54, 249, 254

Internet 37, 40, 46, 49, 80, 109, 148, 152, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 166, 167, 180, 202, 220, 221, 236, 249, 250, 251, 253, 254, 255, 277, 279, 280, 287

Internet das coisas 49, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 255

## J

Jogos 48, 49, 50, 51, 59, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 118, 127, 128, 168, 169, 170, 171, 172, 177, 178, 179, 181, 182, 183, 191, 193, 194, 198, 199, 203, 211, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234

Jogos digitais 48, 49, 59, 92, 93, 96, 97, 99, 101, 107, 108, 168, 169, 170, 171, 179, 182, 183, 199, 228, 229, 230, 232, 233

Jogos educativos 92, 109, 128, 171, 172, 178, 181, 182, 183, 198

Jogos sérios 49, 168, 169, 170, 177, 178

## **M**

Matemática 200, 201, 202, 203, 205, 209, 210, 211, 268, 290, 291

Matriz energética 86, 87

Método trezentos 60, 61, 63, 65, 68, 69

Microserviços 212, 213, 214, 215

Mobile 99, 109, 110, 159, 166, 177, 198, 277, 278, 279, 280, 281, 287

Modelo 3, 5, 6, 7, 8, 22, 23, 25, 27, 29, 32, 34, 36, 41, 74, 81, 132, 134, 152, 166, 172, 178, 228, 237, 246, 247, 248, 249, 258, 260, 269

Monolítico 212, 213

## **O**

Outubro rosa 92, 93, 95, 98, 99, 100, 103, 108, 109

## **P**

Paralelismo 289, 291, 296, 297, 301

Pesquisa e desenvolvimento 70, 72, 78, 159

Políticas públicas 70, 83, 182, 187

Potência 86, 87, 88, 89, 90, 91, 204, 236, 237, 239, 242, 243, 244

Power BI 240, 242, 243, 244

Prevenção 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 162, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177, 178, 179, 181, 183, 198, 275, 276, 280

Processamento de imagens 257, 259, 260, 262

Programação 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 74, 84, 135, 154, 163, 188, 191, 198, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 208, 209, 210, 211, 255, 257, 259, 263, 281, 287, 302

Protótipo 24, 35, 127, 128, 154, 158, 160, 162, 163, 164, 165, 166, 216, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 240, 241, 242, 281

Python 27, 34, 37, 38, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 210

## **R**

Raspberry Pi 245, 246, 247, 248, 249, 250, 254, 255, 256

Realidade aumentada 1, 2, 3, 4, 5, 15, 18, 19, 184, 203, 211

Rede ótica passiva 39, 45

Redes neurais 22, 23, 74, 75

Regras do jogo 226, 227, 230, 234

Regressor 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35

Robocode 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59

## **S**

Simulação 1, 2, 3, 4, 14, 15, 17, 52, 89, 127, 130, 135, 136, 138, 140, 141, 143, 144, 166, 170, 221

Sistema de navegação 130, 131, 145, 146

Sistema embarcado 216

Sistemas 1, 3, 4, 19, 37, 45, 49, 51, 73, 74, 84, 86, 87, 91, 108, 109, 131, 146, 147, 148, 149, 152, 155, 156, 158, 161, 177, 198, 199, 202, 212, 213, 215, 226, 232, 233, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 275, 276, 290, 295, 302

Sistemas fotovoltaicos 86, 87, 91

Sistemas operacionais 198, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256

Smartphone 96, 182, 214, 254, 270, 271, 272, 276, 277, 278, 280

Software 4, 5, 12, 14, 23, 25, 31, 36, 37, 49, 79, 80, 86, 101, 131, 135, 136, 138, 139, 142, 146, 147, 148, 149, 152, 155, 156, 162, 167, 189, 193, 200, 201, 202, 207, 212, 213, 215, 236, 244, 246, 248, 249, 250, 255, 257, 258, 259, 267, 268, 270, 271, 272, 279, 280, 281, 282, 283, 286, 302

Softwares educacionais 202, 203

## **T**

Tecnologia 1, 2, 3, 4, 18, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 61, 70, 71, 72, 73, 75, 78, 80, 83, 84, 86, 92, 99, 147, 148, 152, 153, 154, 158, 159, 161, 166, 167, 168, 179, 183, 184, 194, 201, 202, 203, 206, 210, 213, 215, 216, 245, 255, 257, 270, 274, 275, 279, 280, 281, 287, 290, 301, 302

Thebug 279, 280

Tipos de regras 226, 228, 229, 233

## **U**

Usabilidade 119, 147, 148, 151, 152, 153, 154, 155, 275, 277, 281, 284, 285

## **V**

Virtual 3, 19, 24, 36, 48, 50, 55, 84, 91, 97, 170, 171, 186, 199, 233, 244

Voz 39, 40, 41

## **W**

Weka 21, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

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

# A PLURIVALÊNCIA DA ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E SEU AMPLO CAMPO DE APLICAÇÃO

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

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

# A PLURIVALÊNCIA DA ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E SEU AMPLO CAMPO DE APLICAÇÃO

 **Atena**  
Editora

Ano 2021