

janeiro/2026 • n. 55

# COMPUTAÇÃO<sup>®</sup>

REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO — BRASIL

ISSN: 2965-9728



# Grandes Desafios

## EDITORIAL

# A

presentamos, com grande alegria, a primeira edição da Computação Brasil em 2026!

O foco desta edição está nos artigos dedicados aos Grandes Desafios da Computação e aos Grandes Desafios da Educação em Computação para o período de 2025 a 2035. A definição desses desafios ocorreu no âmbito dos Seminários dos Grandes Desafios da Computação (GDC) e dos Grandes Desafios da Educação em Computação, eventos de abrangência nacional promovidos pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC) em novembro de 2024, na cidade de São Paulo. Os seminários reuniram cerca de 80 participantes, incluindo pesquisadores e profissionais de destaque de diferentes áreas da Computação.

A definição dos grandes desafios tem um papel estratégico ao estabelecer uma agenda de longo prazo para a Computação e a Educação em Computação, alinhando pesquisa, formação de recursos humanos, inovação e políticas públicas, além de fortalecer a articulação da comu-



**THAÍS VASCONCELOS BATISTA**

*Presidente da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)*

nidade científica e ampliar o impacto da área no desenvolvimento do país. Apesar dos temas focarem em tópicos inerentes da área de Computação, eles trazem complexidades e questões que transcendem as fronteiras do conhecimento, revelando implicações sociais, econômicas e políticas. Portanto, esses desafios exigem uma colaboração entre diversas áreas, como ciências humanas, sociais, direito, entre outras, para garantir que o avanço tecnológico seja guiado de forma ética, responsável e sustentável, promovendo um futuro digital que beneficie a sociedade como um todo.

Esta edição é composta por 13 artigos. Os sete primeiros são dedicados aos Grandes Desafios da Computação. O artigo inicial apresenta o histórico dos seminários de Grandes Desafios, destacando o papel estruturante da SBC, os impactos alcançados ao longo dos anos e a metodologia adotada no seminário de 2024. Os seis

artigos seguintes sintetizam os seis Grandes Desafios definidos nesse encontro. As versões estendidas desses desafios foram publicadas em livro disponível na Biblioteca Digital da SBC.

Os Grandes Desafios da Educação em Computação são introduzidos no oitavo artigo, que contextualiza o tema a partir das diversas iniciativas da SBC responsáveis por impulsionar a Educação em Computação no Brasil. Os cinco artigos subsequentes apresentam a síntese dos cinco Grandes Desafios da Educação em

Computação definidos no seminário. As versões detalhadas desses desafios também se encontram publicadas em livro acessível na Biblioteca Digital da SBC.

Agradecemos aos editores e coordenadores dos seminários, os Professores André Luís de Medeiros Santos (UFPE) e Flávio Rech Wagner (UFRGS) e as Professoras Claudia Lage Rebello da Motta (UFRJ) e Leila Ribeiro (UFRGS), bem como aos autores dos artigos desta edição, pela excelência e relevância de seus trabalhos.

Boa leitura!

---

# COMPUTAÇÃO<sup>®</sup>

REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO — BRASIL

Caixa Postal 15012  
CEP: 91.501-970 – Porto Alegre/RS  
Av. Bento Gonçalves, 9.500 - Setor 4 – Prédio 43412 – Sala 219  
Bairro Agronomia - CEP: 91.509-900 - Porto Alegre/RS  
Fone: (51) 3308.6835 | Fax: (51) 3308.7142  
[marketing@sbc.org.br](mailto:marketing@sbc.org.br) | [sbc.org.br](http://sbc.org.br)

## Diretoria:

**Presidente** | Thais Vasconcelos Batista (UFRN)  
**Vice-Presidente** | Cristiano Maciel (UFMT)  
**Diretor(a) Administrativa** | Renata Galante (UFRGS)  
**Diretor(a) de Finanças** | Francisco Dantas (UERN)  
**Diretor(a) de Eventos e Comissões Especiais** | Denis Lima do Rosário (UFPA)  
**Diretor(a) de Educação** | Rodrigo Silva Duran (IFB)  
**Diretor(a) de Publicações** | José Viterbo Filho (UFF)  
**Diretor(a) de Planejamento e Programas Especiais** | André Luís Santos (UFPE)  
**Diretor(a) de Secretarias Regionais** | Eunice Pereira dos Santos Nunes (UFMT)  
**Diretor(a) de Comunicação** | Alirio Santos de Sá (UFBA)  
**Diretor(a) de Relações Profissionais** | Michelle Silva Wangham (UNIVALI)  
**Diretor(a) de Competições Científicas** | Carlos Eduardo Ferreira (USP)  
**Diretor(a) de Cooperação com Sociedades Científicas** | Ronaldo Ferreira (UFMS)  
**Diretor(a) de Inovação** | Flávia Maria Santoro (Intel)  
**Diretor(a) de Computação na Educação Básica** | Leila Ribeiro (UFRGS)  
**Diretor(a) de Tecnologia da Informação** | Marcelo Marotta (UNB)

**Editor(a) Responsável** | Alirio Sá (UFBA)

**Editores(as) Convidados(as)** | André Luís de Medeiros Santos (UFPE)  
Claudia Lage Rebello da Motta (UFRJ)  
Flávio Rech Wagner (UFRGS)  
Leila Ribeiro (UFRGS)

**Equipe de Comunicação** | Cris Felix, Wangles Oliveira e Stefany Amorim

**Os artigos publicados nesta edição são de responsabilidade dos autores e não representam necessariamente a opinião da SBC.**

**Diagramação:** Priscila Krüger | [priscilahbk@gmail.com](mailto:priscilahbk@gmail.com) | 84 99112-7473

**Revisão:** Carla Simões de Azevedo

**Imagens Ilustrativas:** Unsplash.com e Freepik.com





# CSBC 26

46º CONGRESSO DA SOCIEDADE  
BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO

19 A 23 DE JULHO  
**GRAMADO - RS**

O maior evento de Computação e TI da América Latina

## TRANSFORMAÇÃO DIGITAL PARA UM MUNDO EM EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

Venha para o **CSBC 2026** em  
**Gramado** e faça parte da  
construção do **FUTURO DA  
COMPUTAÇÃO!**



### Visite nosso site!

<https://csbc.sbc.org.br/2026/>



ORGANIZAÇÃO



REALIZAÇÃO



PATROCINADORA  
DIAMANTE



APOIO





COMPUTAÇÃO BRASIL

# ÍNDICE

## Grandes Desafios

Computação Brasil | Janeiro 2026

02

### EDITORIAL

Thaís Vasconcelos Batista

08

### APRESENTAÇÃO I

Flávio Rech Wagner, André Luís de Medeiros Santos

13

**PROMOÇÃO DA EVOLUÇÃO  
RESPONSÁVEL DE INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL E TECNOLOGIAS  
CORRELATAS, MITIGANDO SEUS  
RISCOS E AMPLIANDO SEUS  
BENEFÍCIOS TECNOLÓGICOS,  
SOCIOECONÔMICOS E CULTURAIS**

18

**CIBERSEGURANÇA FRENTE AOS  
RISCOS DA TRÂNSICÃO QUÂNTICA,  
DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, E DE  
ASPECTOS HUMANOS**



[São] seis temas prioritários, já indicados na chamada de trabalhos: Inteligência Artificial, Ciência de Dados, Computação Quântica, Cibersegurança, Ubiquidade da Internet e Computação Sustentável

*-Flávio Rech Wagner, André Luis de Medeiros Santos  
p. 10*

23

**A REVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS  
QUÂNTICAS: CAMINHOS PARA O  
DESENVOLVIMENTO NACIONAL**

29

**ACESSO UNIVERSAL E  
SIGNIFICATIVO À INTERNET  
ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTAVEL, RESILIENTE E  
SEGUR DE INFRAESTRUTURAS  
UBÍQUAS DE COMUNICAÇÃO**

33

**COMPUTAÇÃO SUSTENTÁVEL  
PARA A REDUÇÃO DO IMPACTO  
SOCIOAMBIENTAL NO  
DESENVOLVIMENTO DE MODERNAS  
APLICAÇÕES**

38

**A NOVA AGENDA DIGITAL: ÉTICA,  
INCLUSÃO, SUSTENTABILIDADE,  
PARTICIPAÇÃO E EQUIDADE NA  
COMPUTAÇÃO**

“

A Computação exerce um papel estratégico e transformador na sociedade contemporânea, permeando não apenas atividades profissionais e acadêmicas, mas também processos sociais, econômicos e culturais.

44

## APRESENTAÇÃO II

Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro

48

## FORMAÇÃO DOCENTE E MATERIAIS EDUCACIONAIS INCLUSIVOS PARA O ENSINO DE COMPUTAÇÃO NA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA

54

## HABILIDADES E COMPETÊNCIAS META-COMPUTACIONAIS: TRANSMUTANDO A FORMAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

60

## O DESAFIO DA INCLUSÃO, DIVERSIDADE, EQUIDADE E ACESSIBILIDADE NA COMPUTAÇÃO

67

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AGÊNCIA NA EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

73

## METODOLOGIAS ATIVAS E ECOSISTEMAS HÍBRIDOS DE APRENDIZAGEM PARA A EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

-Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro p. 44





## APRESENTAÇÃO I

# GRANDES DESAFIOS DA COMPUTAÇÃO 2025 – 2035

POR

Flávio Rech Wagner, André Luís de Medeiros Santos

[flavio@inf.ufrgs.br](mailto:flavio@inf.ufrgs.br), [alms@cin.ufpe.br](mailto:alms@cin.ufpe.br)

## Introdução e Histórico

**N**o início dos anos 2000, tivemos as primeiras iniciativas internacionais para a definição de Grandes Desafios da Computação realizadas por importantes sociedades internacionais. Destacam-se iniciativas da National Science Foundation e da Computing Research Association nos Estados Unidos, em 2002 [1], e a da CRC/BCS no Reino Unido, publicada em 2004, com uma edição com foco em pesquisa [2, 3] e outra em educação [4].

A SBC organizou em maio de 2006,

em São Paulo, seu primeiro evento [5, 6] para definir Grandes Desafios da Computação, para um período de 10 anos, de 2006 a 2016. Neste seminário foram definidos cinco desafios, que se mostraram ao mesmo tempo precisos e abrangentes em sua visão do futuro da Computação, tendo servido de base para os eventos posteriores:

- Gestão da Informação em grandes volumes de dados multimídia distribuídos;
- Modelagem computacional de sistemas complexos artificiais, naturais e socioculturais e da interação homem-natureza;

- Impactos para a área da computação da transição do silício para novas tecnologias;
- Acesso participativo e universal do cidadão brasileiro ao conhecimento;
- Desenvolvimento tecnológico de qualidade: sistemas disponíveis, corretos, seguros, escaláveis, persistentes e ubíquos.

O seminário evidenciou que o tratamento dos desafios estabelecidos exigia competências multidisciplinares e trabalho colaborativo. A discussão dos perfis de formação de recursos humanos necessários e a integração com a indústria também foram identificados como elementos essenciais para abordar esses desafios. Também ficou claro que deveríamos buscar atingir parâmetros internacionais na pesquisa, observadas as restrições e limitações que se impõem em um país como o Brasil. A definição dos Grandes Desafios da SBC impactou grande parte da comunidade de pesquisadores, principalmente através das discussões e documentos elaborados. Os Grandes Desafios foram, por exemplo, o tema do Congresso da SBC de 2008.

Os Grandes Desafios também influenciaram editais de órgãos de fomento, como o CNPq e a FAPESP. O CNPq lançou um edital em 2007 com foco na seleção de projetos baseados nos temas definidos no evento de 2006, com recursos da ordem de R\$ 9 milhões [7]. Também em 2007 foi lançado um edital pelo Instituto Virtual FAPESP-Microsoft, com base no quarto desafio, tratando de acessibilidade

e acesso universal e participativo do cidadão brasileiro ao conhecimento [8].

Um desdobramento do primeiro seminário da SBC foi a realização de outro evento semelhante, mas com escopo ampliado para toda a América Latina, com apoio da Microsoft e do Centro Latinoamericano de Estudios en Informática (CLEI). O Workshop CharLA – Grand Challenges in Computer Science Research in Latin America foi realizado em 2008 e contou com a participação de 25 pesquisadores de diversos países. Nele foram definidos quatro desafios, com foco em desafios e perspectivas da América Latina: tecnologias de informação e comunicação orientadas ao cidadão; multilinguismo e identidade latino-americana em um mundo digital; Computação orientada ao monitoramento e controle ambiental; e redes colaborativas complexas (na América Latina).

O segundo evento nacional com foco nos Grandes Desafios foi realizado em março de 2009 [9], em Manaus, e teve participação da indústria, da comunidade científica e de empresas governamentais. Como resultado, foi feito o mapeamento dos Grandes Desafios já previamente identificados para domínios de aplicação, visando conectar pesquisadores com o governo e a indústria e buscando fomentar projetos colaborativos entre esses setores.

O terceiro evento foi realizado em duas fases. A primeira fase ocorreu em São Paulo, em abril de 2013 [10], na sede da Confederação Nacional da Indústria (CNI), contando com a participação de empresas e pesquisadores de diferentes universida-

des. A segunda fase foi um evento aberto, realizado na UFRJ em setembro de 2014, visando promover redes de colaboração temáticas em função de problemas reais que envolvessem governo, indústria e academia. A chamada de trabalhos buscou identificar parcerias possíveis ou já existentes entre governo-indústria-academia, nos domínios de Sistema Bancário/Financeiro, Petróleo, Energia, Defesa Cibernética, Saúde, Educação e Mobilidade.

Esses esforços da SBC tiveram repercussão em algumas de suas Comissões Especiais, que ao longo dos anos vem também discutindo e definindo os Grandes Desafios da Computação em suas respectivas áreas. São exemplos disso a publicação de um volume em 2007 pela comunidade de Sistemas de Informação [11], com uma nova edição em preparação, e as iniciativas da comunidade de Jogos e Entretenimento Digital, entre 2020 e 2023 [12], e da comunidade de IHC, em 2014 e 2024 [13].

## **Metodologia de trabalho**

O Seminário dos Grandes Desafios da Computação de 2024 teve uma chamada pública de trabalhos [14], preparada pela comissão organizadora, a partir de diálogo com a Diretoria da SBC e com pesquisadores experientes da comunidade. Deste diálogo, chegou-se ao estabelecimento preliminar de seis temas prioritários, já indicados na chamada de trabalhos: Inteligência Artificial, Ciência de Dados, Computação Quântica, Cibersegurança, Ubiquidade da Internet e Computação Sustentável.

Foi estabelecido que o Seminário também se dedicaria à relação entre os Grandes Desafios e os impactos socioeconômicos da Computação, tais como os aspectos éticos das soluções computacionais, o combate à desinformação e o fortalecimento da inovação e do empreendedorismo tecnológico. A chamada solicitou contribuições contemplando propostas de novos desafios, em relação àqueles já sugeridos na chamada, ou o refinamento dos desafios sugeridos, focando em problemas complexos e desafiadores na área de TICs para a indústria, a sociedade ou o governo. Os trabalhos deveriam incluir potenciais métricas para avaliação do progresso de possíveis soluções para o problema/desafio apresentado, sendo particularmente bem-vinda a conexão entre os desafios científicos e tecnológicos e os grandes problemas que a sociedade deve enfrentar na próxima década.

Foram submetidos 23 trabalhos, dos quais 18 foram selecionados para apresentação e discussão durante o evento. A avaliação e seleção dos trabalhos foi realizada por um Comitê de Programa, convidado pela comissão organizadora. Os trabalhos selecionados foram publicados na Biblioteca Digital da SBC (SBC – Open-Lib – SOL) sob o título “IV Seminário dos Grandes Desafios da Computação no Brasil: Trabalhos Apresentados” [15].

Foi realizado um seminário fechado, com participação mediante convite, congregando cerca de 70 participantes. Entre os participantes estavam autores dos trabalhos selecionados, membros do Comitê de Programa, integrantes da Diretoria e Conselho da SBC e profissionais e

pesquisadores convidados. Na manhã do primeiro dia, um painel de abertura discutiu aspectos abrangentes dos Grandes Desafios da Computação para a próxima década, seguido de outro painel sobre os Grandes Desafios da Educação em Computação. No turno da tarde ocorreram as apresentações dos trabalhos selecionados.

Na manhã do segundo dia, os participantes se dividiram em seis grupos que corresponderam, na maioria, aos temas prioritários previamente identificados na chamada de trabalhos: Inteligência Artificial e Ciência de Dados, que se reuniram em um único grupo, pela proximidade dos temas, coordenado por Wagner Meira Jr (UFMG), André Ponce de Leon Ferreira de Carvalho (USP-SC) e Claudia Bauzer Medeiros (Unicamp); Computação Sustentável, coordenado por Luigi Carro (UFRGS) e Daniel Cordeiro (USP); Cibersegurança, coordenado por Marcos Antônio Simplício Junior (USP); Ubiquidade da Internet, coordenado por Lisandro Granville (UFRGS) e Luciano Gaspary (UFRGS); Computação Quântica, coordenado por Antônio Abelém (UFPA); e Computação e

Sociedade, grupo formado durante o próprio seminário, em função de interesses comuns de participantes, e coordenado por Claudia Cappelli (UERJ). Na tarde do segundo dia, as ideias e conclusões dos grupos foram apresentadas e discutidas em uma sessão plenária.

Na sequência desta introdução da Computação Brasil são apresentados os artigos que resumem os seis Grandes Desafios nos temas acima referidos. As versões estendidas desses Grandes Desafios foram publicadas na Biblioteca Digital da SBC, sob o título “Grandes Desafios da Computação no Brasil 2025-2035” [16]. Para cada Grande Desafio, além do seu detalhamento, são discutidas também as contribuições de outras áreas de conhecimento para o enfrentamento do desafio; questões socioeconômicas relevantes relacionadas ao desafio; e métricas de avaliação para estimar o sucesso das soluções propostas para o enfrentamento do desafio. Esse volume contém, ainda, considerações sobre a formação de recursos humanos nos diferentes temas e recomendações ao setor público, às agências de fomento, ao setor produtivo, às universidades e às sociedades científicas.

---

## Referências

1. Grand Research Challenges in Information Systems, Computing Research Association, 2002.
2. Tony Hoare, Robin Milner, editors. Grand Challenges in Computing – Research, The British Computer Society, 2004.
3. John Kavanagh, Wendy Hall, editors. Grand Challenges in Computing Research Conference 2008. UK Computer Research Committee, 2008.
4. Andrew McGetrick, Roger Boyle, Roland Ibbett, John Lloyd, Gillian Lovegrove, Keith Mander. Grand Challenges in Computing Education. The British Computer Society, 2004.

5. Carlos Lucena, Claudia Bauzer Medeiros, Cláudio Lucchesi, José Carlos Maldonado, Virgílio Almeida, editores. Grandes Desafios da Pesquisa em Computação no Brasil – 2006 – 2016. Sociedade Brasileira de Computação, 2006. Disponível em <https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Grandes-Desafios-da-Pesquisa-em-Computacao-no-Brasil-2006-%E2%80%93-2016.pdf>. Acesso em 30 nov. 2025.
6. Claudia M. B. Medeiros. Grand Research Challenges in Computer Science in Brazil. Computer, 41(6):59–65, 2008. Disponível em <https://doi.org/10.1109/MC.2008.188>.
7. Prioridade para os Grandes Desafios. Revista Pesquisa FAPESP, (140), Outubro 2007. Disponível em <https://revistapesquisa.fapesp.br/prioridade-para-os-grandes-desafios/>. Acesso em 30 nov. 2025.
8. Claudia Bauzer Medeiros: Visões do Futuro da Computação. Revista Pesquisa FAPESP, (135), Maio 2007. Entrevista. Disponível em <https://revistapesquisa.fapesp.br/visoes-do-futuro-da-computacao/>. Acesso em 30 nov. 2025.
9. Altigran Silva, Augusto Sampaio, Claudia Medeiros, Cláudio Lucchesi, Carlos Lucena, Flávio Wagner, José Maldonado, Luís F. G. Soares, Silvio Meira, Virgílio Almeida, editores. II Seminário sobre os Grandes Desafios da Computação no Brasil. Sociedade Brasileira de Computação, 2009. Disponível em [https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2024/06/grandesdesafios\\_pt-v3-2012.pdf](https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2024/06/grandesdesafios_pt-v3-2012.pdf). Acesso em 30 nov. 2025.
10. Ana Carolina Salgado, Claudia Motta e Flávia Santoro, editoras. Grandes Desafios da Computação no Brasil – Relatos do 3º Seminário. Sociedade Brasileira de Computação, 2015. Disponível em <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/book/27>. Acesso em 30 nov. 2025.
11. Clodis Boscarioli, Renata Mendes de Araujo, Rita Suzana Maciel, editores. I GranDSI-BR: Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026. Sociedade Brasileira de Computação, 2017. Disponível em <https://doi.org/10.5753/sbc.2884.0>.
12. Rodrigo Pereira dos Santos, Marcelo da Silva Hounsell, editores. Grand Research Challenges in Games and Entertainment Computing in Brazil – GranDGamesBR 2020–2030. Springer, 2023. Disponível em <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-27639-2>. Acesso em 30 nov. 2025.
13. Roberto Pereira, Ticianne Darin, Milene Selbach Silveira. Grand Research Challenges in Human-Computer Interaction in Brazil for 2025-2035. Anais do XXII Simpósio Brasileiro Sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC), 2024, Brasília/DF. SBC, Porto Alegre, Brasil, 915-938.
14. Sociedade Brasileira de Computação. IV Seminário Grandes Desafios da Computação no Brasil – 2025-2035. Disponível em <https://www2.sbc.org.br/grandesdesafios/computacao/>. Acesso em 30 nov. 2025.
15. André Luís de Medeiros Santos, Flávio Rech Wagner, editores. IV Seminário dos Grandes Desafios da Computação no Brasil: Trabalhos Apresentados. Sociedade Brasileira de Computação, 2024. ISBN 978-85-7669-640-7. Disponível em <https://doi.org/10.5753/sbc.16840.7>.
16. André Luís de Medeiros Santos, Flávio Rech Wagner, editores. Grandes Desafios da Computação no Brasil 2025-2035. Sociedade Brasileira de Computação, 2025. ISBN 978-85-7669-634-6. Disponível em <https://doi.org/10.5753/sbc.17434.6>.



**FLÁVIO RECH WAGNER** é Engenheiro Eletrônico (1975) e Mestre em Ciência da Computação (1977) pela UFRGS e Doutor em Engenharia de Computação pela Universidade de Kaiserslautern, Alemanha (1983). É Professor Titular Emérito do Instituto de Informática da UFRGS, onde atua desde 1977, tendo sido seu Diretor entre 2006 e 2011. Também foi Diretor do Parque Científico e Tecnológico da UFRGS, entre 2011 e 2016. Foi coordenador do Grupo de Trabalho 10.5 da IFIP - International Federation for Information Processing, entre 2001 e 2007. Desenvolveu pesquisa na área de Engenharia da Computação por mais de quatro décadas, atuando principalmente no projeto de hardware e software de sistemas eletrônicos embarcados. Foi Presidente da Sociedade Brasileira de Computação, por dois mandatos (1999–2003), tendo ocupado outros cargos na Diretoria da SBC, em quatro outros mandatos. Foi membro dos comitês da área de Computação do CNPq e da CAPES, e também integrou o Conselho Superior da FAPERGS (2012–2017). Foi Conselheiro do CGI.br – Comitê Gestor da Internet no Brasil, por três mandatos (2008–2017). É Presidente da ISOC Brasil, o capítulo brasileiro da Internet Society, desde 2018. Foi agraciado com a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Científico em 2008.



**ANDRÉ LUÍS DE MEDEIROS SANTOS** é graduado (1989) e Mestre em Ciência da Computação (1991) pela UFPE e Doutor em Ciência da Computação pela University of Glasgow (1995). É Professor Titular do Centro de Informática da UFPE (CIn-UFPE), onde atua desde 1998, tendo sido seu Diretor entre 2013 e 2021. Desenvolve pesquisas em Engenharia de Software e Linguagens de Programação, atuando principalmente nos seguintes temas: Testes de Software, Linguagens de Domínio Específico, Compiladores e Programação Funcional. É Coordenador da Unidade Embrapii CIn-UFPE, desde 2020, e Diretor de Planejamento e Programas Especiais da Sociedade Brasileira de Computação desde 2023.



ARTIGO

# PROMOÇÃO DA EVOLUÇÃO RESPONSÁVEL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E TECNOLOGIAS CORRELATAS, MITIGANDO SEUS RISCOS E AMPLIANDO SEUS BENEFÍCIOS TECNOLÓGICOS, SOCIOECONÔMICOS E CULTURAIS

POR

André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho, Claudia Bauzer Medeiros e Wagner Meira Jr.  
[andré@icmc.usp.br](mailto:andre@icmc.usp.br), [cmbm@unicamp.br](mailto:cmbm@unicamp.br) e [meira@dcc.ufmg.br](mailto:meira@dcc.ufmg.br)

A emergência de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) [4] para apoiar decisões e soluções nos mais variados setores da sociedade, fruto de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) principalmente na área de Computação, trouxe vários benefícios socioeconômicos. Dada sua influência crescente em quase todas as áreas do conhecimento, e questões éticas associadas, novos avanços que possam estender esses benefícios de forma sustentável e inclusiva demandam ações coordenadas de PD&I com a participação

de todas as áreas da Computação.

O termo IA vem sendo usado como sinônimo de Grandes Modelos de Linguagem (LLMs, do inglês Large Language Models) [3], uma subárea de Redes Neurais Artificiais, por sua vez, uma das subáreas da IA. Os LLMs combinam algoritmos e técnicas sofisticadas de Processamento de Linguagem Natural e de Aprendizado de Máquina (AM). Não podemos esquecer que a IA é bem mais ampla, incluindo várias outras subáreas.

É possível considerar a IA como apoiada por três grandes grupos interligados - algoritmos que extraem conheci-

mento de dados, que, por demandas computacionais, precisam de plataformas de hardware e software poderosas. Para isso, requer conhecimentos e comportamento ético em gestão de dados, concepção de algoritmos e plataformas para sua execução. A IA cobre vários aspectos no uso e geração de dados e algoritmos, e sua execução, combinando aspectos práticos de implementação ao rigor teórico, além da interpretação dos resultados, que devem considerar o contexto de IA Responsável.

Em suma, os conceitos, fundamentos e algoritmos de IA têm sido, na maior parte, propostos e investigados por pesquisadores e profissionais da área da Computação. De forma complementar, todas as outras áreas do conhecimento também vêm contribuindo para esses avanços: ferramentas de IA estão sendo aplicadas e contribuem para o seu crescimento, acelerando o desenvolvimento de soluções, obtendo novos insights, apoiando a tomada de decisão e economizando tempo e trabalho manual. Muitos avanços em IA vêm sendo obtidos graças a esta colaboração e sinergia.

### **Dados, algoritmos e plataformas de software e hardware**

Não é possível utilizar ferramentas de IA, ou fazer qualquer tipo de análise computacional de dados, sem pensar nos dados, estudados em Engenharia e em Ciência de Dados. Por outro lado, a capacidade da IA generativa de produzir grandes volumes de dados de forma não transparente (e eventualmente incorreta ou inconsistente) traz novos desafios em gestão e visualização de dados, revolu-

cionando o ciclo de vida de dados. Destacam-se, ainda, desafios associados à heterogeneidade, curadoria, proveniência e qualidade dos dados, além de propostas de novas linguagens que facilitem o acesso e a consulta a dados por usuários leigos.

A heterogeneidade nunca vai desaparecer: dados são sempre coletados e gerados por humanos, dispositivos ou de forma sintética, a partir de demandas e visões diferentes do mundo. Curadoria e limpeza são associadas à qualidade dos dados, que não é absoluta, mas depende do propósito para o qual são gerados. A curadoria de dados criados por IA é um desafio em aberto, envolvendo questões de proveniência e rastreabilidade. Novos desafios surgem quando dados são utilizados por algoritmos, modelos e sistemas. Um modelo de IA, em geral uma função matemática, é o cerne das aplicações de IA. Um sistema de IA é um conjunto de vários componentes, que inclui um ou mais modelos de IA, projetado para, de alguma forma, ser útil para os humanos. Surgem, assim, questões referentes ao projeto e implementação de algoritmos extensíveis e adaptáveis para a construção de ferramentas de IA e a adaptação e curadoria dos dados.

Atualmente, há um grande interesse em uma das subáreas da IA, a de AM, por conta dos avanços em aprendizado profundo e dos modelos como IA gerativa, que incluem os grandes modelos de linguagem (LLMs). Os LLMs tornaram-se possíveis com o desenvolvimento de algoritmos de aprendizado profundo (deep learning) para o treinamento de

redes neurais profundas [2], dando origem às redes neurais convolucionais e aos modelos transformadores (de transformers) [6].

Aqui, é preciso considerar confiabilidade, escalabilidade, explicabilidade e robustez dos algoritmos de IA desenvolvidos para aplicações gerais ou específicas. Para LLMs e modelos similares, é fundamental buscar maior controle e previsibilidade, para que tais modelos gerem resultados mais próximos dos esperados e especificados como, por exemplo, produzindo respostas com garantias de veracidade. Apesar desses avanços, para melhor usufruir dos benefícios da IA, é importante apoiar pesquisas em suas diferentes subáreas, incluindo seus fundamentos teóricos e matemáticos.

O terceiro grande grupo que influencia, e é influenciado por avanços em IA, é a concepção e desenvolvimento de plataformas de hardware e software eficientes, escaláveis e sustentáveis. Em hardware, o grande desafio é encontrar um bom compromisso entre alto desempenho, escalabilidade, baixo consumo de água e energia e baixa emissão de carbono no projeto de novos processadores (CPU e aceleradores) e redes de interconexão. É preciso ainda projetar arquiteturas eficientes para processar modelos com um número muito grande de parâmetros ( $> 1$  trilhão). Em software, o grande desafio é desenvolver uma pilha de software que trate um número muito grande de agentes/processos/threads, permitindo projetar, orquestrar, escalar e executar sistemas de IA em larga escala, de maneira eficiente. Em paralelo, é preciso considerar o reuso, a

manutenção e a extensibilidade das aplicações.

## Visando a IA Responsável

Assim como em qualquer área da Computação, a IA não deve ignorar aspectos éticos, investigados na sua subárea IA Responsável, que combina questões computacionais, e de áreas como Filosofia e Psicologia. Nela, componentes e sistemas de IA incorporam princípios éticos no seu inteiro ciclo de vida: concepção, desenvolvimento, implantação, uso e monitoramento [5]. Isso inclui Beneficência (bem-estar, dignidade, sustentabilidade); Não-maleficência (privacidade, confiabilidade técnica); Justiça (não-discriminação, solidariedade); Autonomia (liberdade e poder de decidir); e Transparência (responsabilização, confiança, explicabilidade). Transformar esses princípios abstratos e subjetivos em mecanismos concretos é um desafio que cresce com a necessidade de considerar diferentes contextos, culturas e legislações, até em uma mesma instituição.

A promoção de uma IA ética deve considerar três desafios específicos. (1) o desenvolvimento de processos, ferramentas e técnicas que incorporem princípios éticos desde a concepção até a implementação; (2) o estabelecimento de fundamentos sólidos para a criação de normatizações e regulações que assegurem a conformidade com padrões éticos; e (3) a formação de profissionais e pesquisadores, fornecendo subsídios para programas educacionais que integrem ética, regulação e boas práticas ao ensino técnico e à pesquisa.

As estratégias para promover uma IA responsável envolvem a criação de ambientes e mecanismos formais que incentivem a cooperação multidisciplinar entre profissionais de Computação e de outras áreas do conhecimento, ampliando perspectivas e abordagens. Também é fundamental estabelecer requisitos éticos claros e aderentes aos princípios de IA responsável, incluindo métricas de análise, definição de limiares aceitáveis e processos de verificação e acreditação para garantir que os sistemas estejam alinhados a padrões éticos.

A IA e tecnologias correlatas são cada vez mais usadas para resolver um grande leque de questões socioeconômicas rele-

vantes, em todos os domínios de conhecimento. Exemplos incluem mitigar efeitos de migrações humanas via planejamento urbano, ou mudanças climáticas, ou ainda agricultura digital e produção e distribuição de alimentos – e, portanto, efeitos em saúde e qualidade de vida. Isto requer enfoques multidisciplinares e a colaboração de pesquisadores e técnicos em Computação com os especialistas de domínio que vão interpretar os resultados, ao mesmo tempo buscando o uso responsável e ético da IA. Finalmente, é necessário intensificar a qualificação de recursos humanos em IA e tecnologias correlatas, ainda insuficientes para a enorme demanda do Brasil [1].'

---

## Referências

1. Almeida, V. A. F. et al. Recomendações para o Avanço da IA no Brasil da Academia Brasileira de Ciências. GT-IA da Academia Brasileira de Ciências. Academia Brasileira de Ciências, ISBN 97865-981763-0-3, <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2023/11/recomendacoes-para-o-avanco-da-inteligencia-artificial-no-brasil-abc-novembro-2023-GT-IA.pdf>, 2023
2. Bengio, Y., Goodfellow, I. e Courville, A. Deep Learning. Massachusetts: MIT Press, EUA, 2017
3. Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., et al. . Language models are few-shot learners. In Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2020.
4. Russel, S. E Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th. ed.). Prentice Hall Press, USA, 2020.
5. UNESCO. Recommendations on the Ethics of Artificial Intelligence. SHS/BIO/PI/2021/1, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>, 2021
6. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, L., e Polosukhin, I. Attention is all you need. In Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), 2017



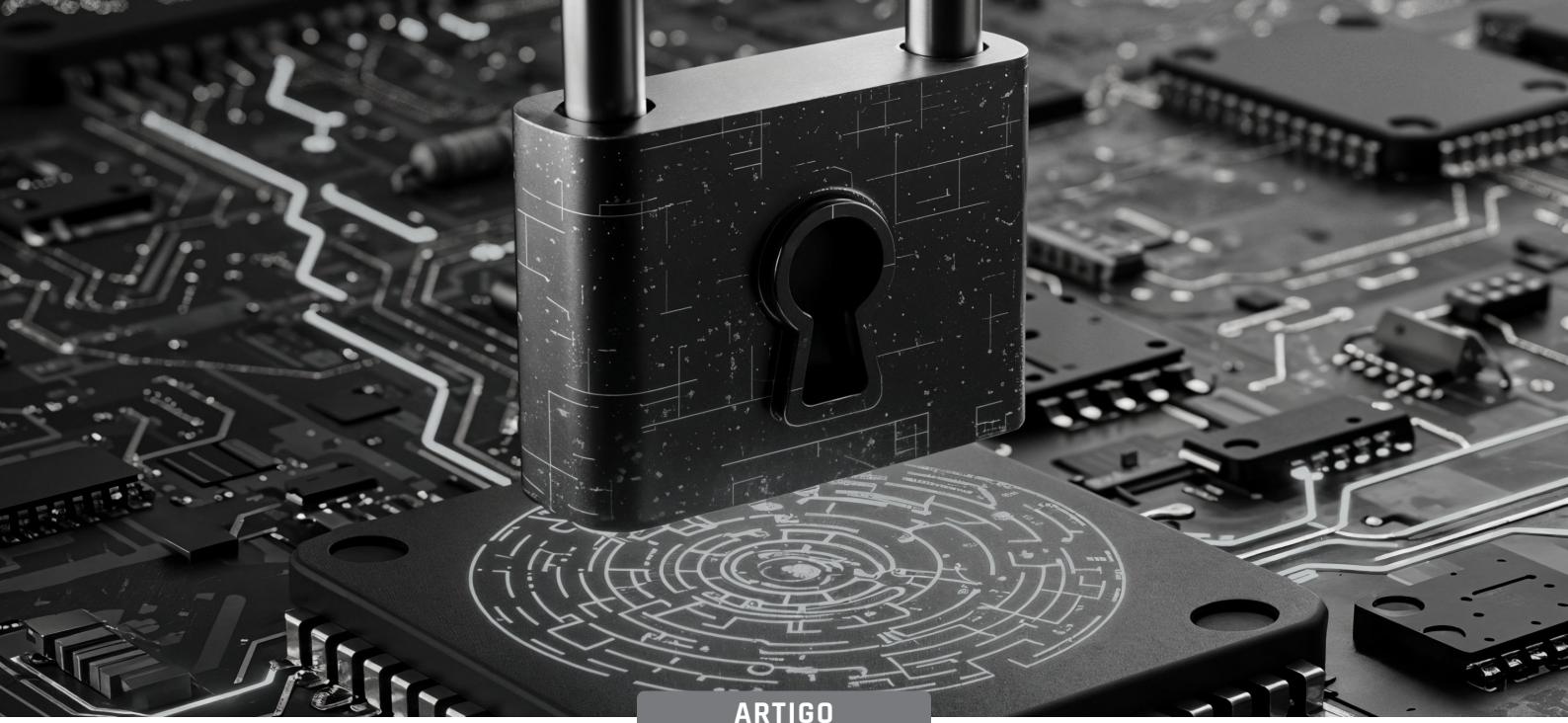
**ANDRÉ CARLOS PONCE DE LEON FERREIRA DE CARVALHO** é Professor Titular e atual Diretor do Instituto de Matemática e Ciência da Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP). Atua nas áreas de Inteligência Artificial, Ciência de Dados e Aprendizado de Máquina. É Diretor do Centro Brasileiro de Pesquisa em IA Aplicada (IARA) e Coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) IA para o Bem Social. Foi Vice-Presidente da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) por dois mandatos, 2019-2021 e 2021-2023. Faz parte do comitê de especialistas do International AI Safety Report.



**CLAUDIA BAUZER MEDEIROS** é Professora Titular do Instituto de Computação da Unicamp. Desenvolve pesquisas em gerenciamento de dados científicos, considerando desafios associados à heterogeneidade, volume e complexidade. Ex-presidente da SBC (2003-2007), é uma das pioneiras brasileiras em Ciência Aberta. Premiada nacional e internacionalmente por atividades de ensino, pesquisa e iniciativas para atrair mulheres para a Computação. Comendadora da Ordem Nacional do Mérito Científico do Brasil; membro da Academia Brasileira de Ciências e da World Academy of Sciences.



**WAGNER MEIRA JR.** é Professor Titular de Ciência da Computação na Universidade Federal de Minas Gerais. É vice coordenador do Instituto Nacional de Ciência Tecnologia em Inteligência Artificial (IAIA) e foi diretor de Cooperação com Sociedades Científicas da SBC entre 2019 e 2023. Comendador da Ordem Nacional do Mérito Científico do Brasil. Atua na área de sistemas paralelos e distribuídos em larga escala, mineração de dados, aprendizado de máquina e suas aplicações tendo publicado mais de 300 artigos científicos em congressos e periódicos.

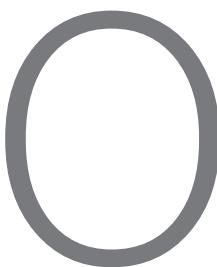


ARTIGO

# CIBERSEGURANÇA FRENTE AOS RISCOS DA TRANSIÇÃO QUÂNTICA, DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, E DE ASPECTOS HUMANOS

POR

Marcos Antonio Simplicio Junior  
[msimplicio@usp.br](mailto:msimplicio@usp.br)



s Referenciais de Formação do Curso de Bacharelado em Cibersegurança (RF-CS) construído pela Sociedade Brasileira de Computação [5] se apoia em oito eixos temáticos: Segurança de Dados, Segurança de Sistemas, Segurança de Conexão, Segurança de Software, Segurança de Componentes, Segurança Organizacional, Fatores Humanos em Segurança, e Segurança e Sociedade. Embora o objetivo primário do documento seja guiar a formação de profissionais de cibersegurança, ele também permite identificar tópicos amplos e seus respectivos desafios mais relevantes de pesquisa e inovação na área, os quais são descritos a seguir.

**Preparar os sistemas computacionais para a transição quântica, com algoritmos e protocolos resistentes a ataques feitos via computadores quânticos.**

Mitigar a ameaça da computação quântica está entre os principais desafios nos eixos de Segurança de Dados e Segurança de Conexões, que tratam da proteção de dados armazenados, em processamento, e enquanto atravessam interligações físicas e lógicas entre componentes computacionais. A razão é que, com computadores quânticos de grande porte, pode-se obter em tempo polinomial as chaves privadas dos principais esquemas criptográficos para assinatura digital e encapsulamento de chaves em

uso atualmente. Assim, embora aumentar a capacidade e confiabilidade de computadores quânticos ainda seja repleto de desafios, a sua superação pode trazer impactos graves à proteção de dados e comunicações em nível global.

As duas estratégias principais para a proteção de dados em um cenário pós-quântico são: (1) desenvolver esquemas criptográficos cuja segurança se apoie em problemas computacionais difíceis tanto em computadores clássicos como quânticos; e (2) para a transmissão de dados sigilosos, adotar esquemas quânticos de distribuição de chaves, explorando propriedades físicas do meio de comunicação. Essas linhas têm sido alvo de iniciativas de padronização, respectivamente, por órgãos internacionais como NIST [2] e ITU [1]. Apesar desse avanço, desafios importantes permanecem tanto para os esquemas já padronizados como para possíveis alternativas, considerando métricas de segurança, desempenho e flexibilidade. Em especial, destacam-se como áreas de pesquisa: (1) análise de segurança dos algoritmos e protocolos, cobrindo aspectos teóricos e práticos; (2) a otimização desses esquemas, considerando técnicas de projeto e de implementação, para que a eficiência resultante de sua adoção seja similar ou superior àquela fornecida por alternativas clássicas; e (3) a adaptação de soluções existentes para incorporar esquemas resistentes a computadores quânticos, preservando funcionalidades e a capacidade de adoção de técnicas modernas de projeto (por exemplo, arquiteturas de rede com uma camada de controle baseada em software).

No Brasil, iniciativas para sanar esse desafio, embora razoavelmente recentes, têm ganhado força nos últimos anos nos setores público e privado. Exemplos incluem o anúncio pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), em abril/2025, da intenção de investir bilhões de reais em tecnologias quânticas, e também ações estratégicas em criptografia pós-quântica anunciadas com destaque por entidades como a Agência Brasileira de Inteligência (ABIN), o banco Bradesco, e a empresa de cibersegurança Kryptus.

**Promover a evolução da Inteligência Artificial e da Ciência de Dados em um contexto de ameaças, mitigando riscos conhecidos e desconhecidos associados a essas tecnologias emergentes.**

Tecnologias emergentes, fruto da Inovação e Empreendedorismo Tecnológico, costumam ser alvos bastante visados por atacantes, que buscam explorar a menor maturidade de segurança na integração entre seus componentes de hardware, software, comunicação e sub-sistemas. Essa preocupação, cerne do eixo de Segurança de Sistemas, e também associada aos eixos de Segurança de Software e de Componentes, atualmente tem se voltado a tecnologias emergentes como Inteligência Artificial (IA) e Ciência de Dados (CD). Em especial, um desafio notório com o crescente interesse em (e adoção de) mecanismos de IA refere-se à aplicação de Cibersegurança na construção e operação desses sistemas inteligentes, evitando que seus benefícios sejam ofuscados pelos riscos inerentes.

A pesquisa atual em torno desse desafio costuma ser associada a termos como Adversarial AI, ou “Aprendizado de Máquina Seguro” [6]. Esses termos complementam, assim, uma área de investigação mais tradicional, no sentido “inverso”, de aplicação de técnicas de IA e CD para aumentar a eficácia de ferramentas de segurança para monitoramento e detecção de ataques, identificação de vulnerabilidades em software, entre outras. Muito da literatura emergente na área consiste na construção de ferramentas de ataque, voltadas a identificar e explorar vulnerabilidades (como burlar filtros em sistemas de IA generativa, o chamado jailbreaking). Contudo, começam também a surgir propostas voltadas à mitigação de ataques de diferentes tipos: (1) perpetrados com o uso de IA, como a criação de deep fakes ou de malware para evadir proteções atuais; (2) direcionados a módulos de IA, visando ao roubo de dados ou modelos completos; ou (3) mirando sistemas que usam IA (por exemplo, explorando técnicas de jailbreaking, ou via envenenamento de bases de treinamento). Mitigar essas ameaças é desafiador devido à própria natureza das técnicas de aprendizado de máquina, em que ocorre a transformação de dados em programas. Nesse cenário, bastante distinto do desenvolvimento de software tradicional, é complexo definir políticas de segurança adequadas ou até mesmo seguir boas práticas comuns para proteção de sistemas.

No Brasil, aspectos de cibersegurança em IA são apresentados, ao menos em alto nível, como requisitos relevantes tanto no Plano Brasileiro de Inteligência

Artificial (PBIA), lançado pelo MCTI em agosto/2024, quanto pelo Marco Regulatório da Inteligência Artificial (Projeto de Lei 2338/2023), que se encontrava em tramitação no momento da escrita deste documento. Ainda, essa intersecção entre cibersegurança e IA tem motivado o surgimento de centros de excelência em pesquisa em diferentes pontos do país, unindo esforços da academia, governo e setor privado. Dois exemplos ilustrativos, ambos lançados em 2025, são a Cátedra de IA Responsável, uma parceria entre Universidade de São Paulo (USP) e Google, e o Centro de Excelência em Inteligência Artificial para Segurança Cibernética, resultado de colaboração entre a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Tempest, Embraer, Atech, e FAPESP.

### **Integrar e consolidar fatores humanos na cibersegurança: da educação dos usuários e desenvolvedores à usabilidade no projeto dos sistemas de proteção.**

Os eixos de Segurança Organizacional, Segurança e Sociedade, e Fatores Humanos em Segurança têm um ponto em comum: a interação entre indivíduos e sistemas computacionais. Nesse contexto, o desafio computacional crítico que se impõe refere-se à necessidade de reduzir potenciais vulnerabilidades criadas dependendo das decisões e comportamentos adotados nessas interações, de forma intencional ou não [3]. Embora longe de ser um desafio novo, ele ainda é bastante presente na sociedade atual, um efeito direto da ubiquidade da computação e da Internet no mundo. Isso pode ser observado no crescente número de ata-

ques na cadeia de suprimentos de hardware/software por agentes maliciosos, como: a inserção de malware no software distribuído pela empresa Solarwinds em 2019 e na biblioteca XZ Utils em 2024; o acoplamento de explosivos em dispositivos de comunicação adquiridos pelo Hezbollah em 2024; e a fraude via recrutamento de agente interno na C&M em 2025. Já casos originados em falha não intencional são observados na desastrosa atualização de software realizada pela CrowdStrike em 2024, que causou um apagão mundial de sistemas, e também em casos de engenharia social que, segundo a Febraban, foram responsáveis por 70% das fraudes bancárias em 2023.

Pesquisas voltadas a sanar esses desafios costumam envolver duas abordagens principais, complementares. A primeira delas busca transformar os humanos, tradicionais elos fracos na proteção de sistemas, em aliados do processo de cibersegurança. Um exemplo são propostas voltadas à educação de usuários, seja por meio de: treinamento formal, de aspecto geral (por exemplo, seguindo o RF-CS) ou com foco em áreas críticas; e campanhas de conscientização eficientes, abordagem essencial para evitar falhas, ataques de engenharia social, e também para ajudar no combate à desinformação. Outro exemplo são soluções de “segurança com usabilidade” (usable security), estratégia que busca tornar sistemas de cibersegu-

rança mais amigáveis e personalizáveis para usuários de forma geral, aplicando conceitos de áreas como psicologia, ciências sociais e interação humano-computador (IHC). Já a segunda abordagem busca incrementar a automatização e granularidade dos mecanismos de segurança, de forma invisível aos usuários. Soluções modernas nessa linha costumam seguir o conceito conhecido como Confiança Zero [4]: apoiando-se em sistemas de gestão de identidade, autenticação/autorização, e detecção/prevenção de intrusões, as interações entre módulos de um sistema ou entre sistemas são constantemente validadas. Ao mesmo tempo, empregam-se políticas de segurança adaptáveis, baseadas em riscos, seguindo-se boas práticas como privilégio mínimo e separação de deveres para limitar eventuais danos em casos de violação de segurança.

No Brasil, este tema é abordado com algum destaque na Estratégia Nacional de Cibersegurança (E-Ciber), lançada em 2025 por meio do Decreto nº 12.573, e também alvo de preocupação por setores particularmente afetados, como o financeiro e de infraestrutura. Ele também está no cerne de iniciativas voltadas à formação de profissionais especializados em cibersegurança, como o próprio RF-CS e o Programa “Hackers do Bem” – promovido pelo MCTI, com pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), Senai-SP, e Softex.

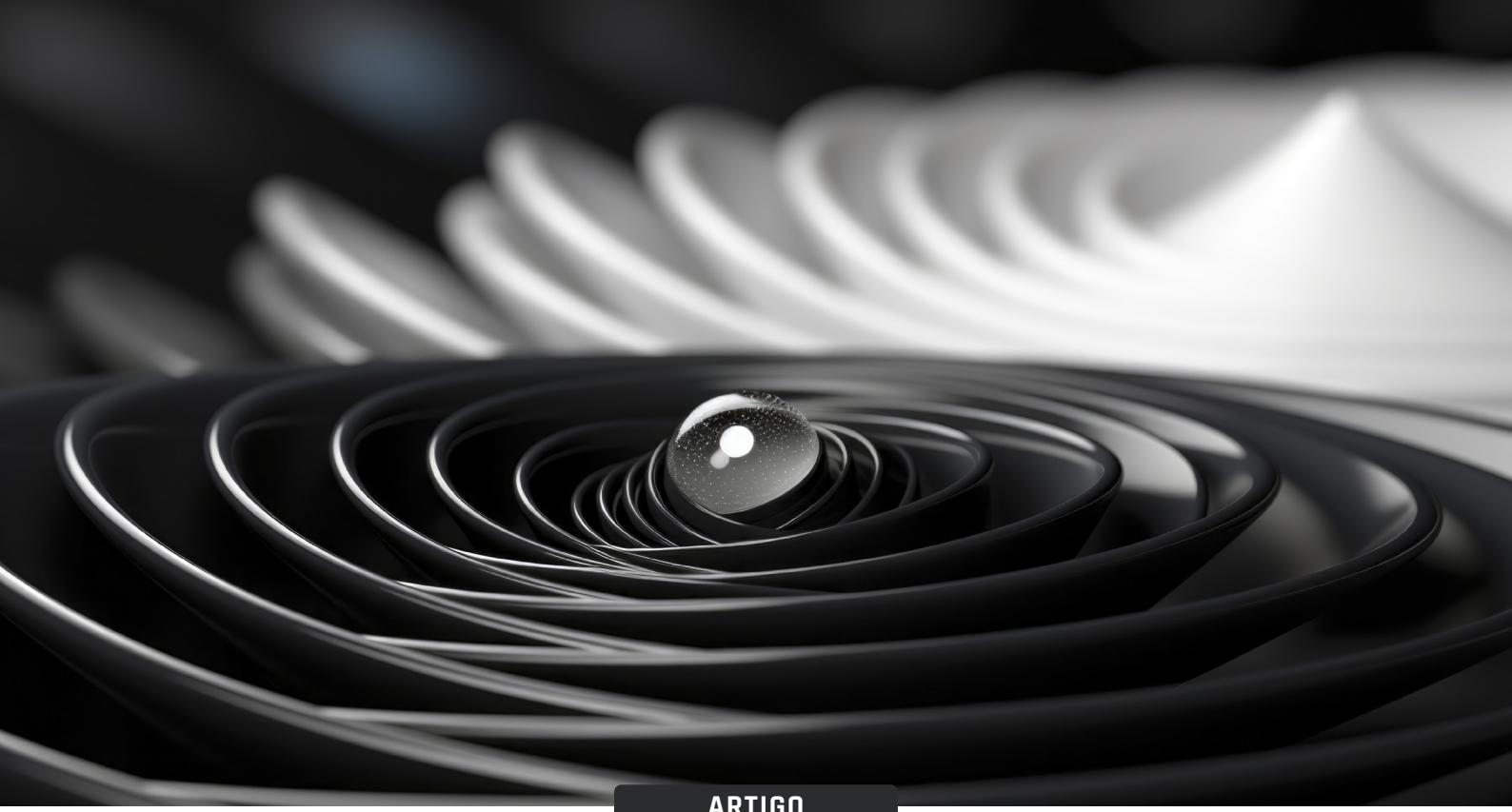
---

## Referências

1. ITU-T (2019). Recommendation ITU-T Y.3800 - overview on networks supporting quantum key distribution. Relatório técnico, International Telecommunication Union.
2. NIST (2023). SP 1800-38B: Migration to Post-Quantum Cryptography. Quantum Readiness: Cryptographic Discovery. National Institute of Standards and Technology.
3. Pollini, A., Callari, T. C., Tedeschi, A., Ruscio, D., Save, L., Chiarugi, F. e Guerri, D. (2022). Leveraging human factors in cybersecurity: an integrated methodological approach. *Cognition, Technology & Work*, 24(2):371–390.
4. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S. e Connelly, S. (2020). NIST SP 800-207: Zero trust architecture. Relatório técnico, National Institute of Standards and Technology.
5. SBC (2023). Referenciais de formação para o curso de bacharelado em cibersegurança. Relatório técnico, Sociedade Brasileira de Computação (SBC).
6. Vassilev, A., Oprea, A., Fordyce, A. e Anderson, H. (2024). Adversarial machine learning: A taxonomy and terminology of attacks and mitigations. Relatório técnico, National Institute of Standards and Technology.



**MARCOS ANTONIO SIMPLICIO JUNIOR** é Professor Associado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP). Atua em projetos de pesquisa relacionados a criptografia e cibersegurança desde 2007, comumente em parceria com os setores público e privado. Sua pesquisa resultou em mais de uma centena de trabalhos publicados, incluindo artigos acadêmicos, patentes e contribuições para padrões internacionais. É atualmente o coordenador da Comissão Especial de Cibersegurança da Sociedade Brasileira de Computação (CESeg-SBC) e do Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores (LARC) da USP.



**ARTIGO**

# A REVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS QUÂNTICAS: CAMINHOS PARA O DESENVOLVIMENTO NACIONAL

**POR**

*Antônio Abelém  
[abelem@ufpa.br](mailto:abelem@ufpa.br)*

**A**s tecnologias quânticas emergem como uma das áreas científicas e tecnológicas mais promissoras da atualidade, com impacto potencial em comunicação segura, computação de alto desempenho, novas arquiteturas de redes e sistemas avançados de sensoriamento. Países que estruturarem de forma coordenada e contínua suas capacidades científicas, industriais e regulatórias poderão alcançar protagonismo global e soberania tecnológica em áreas críticas. No Brasil,

apesar do crescimento de grupos de pesquisa e da participação em iniciativas internacionais, persistem desafios estruturais que dificultam o crescimento contínuo e a participação ativa do país nesta nova revolução tecnológica.

Este artigo apresenta uma análise dos desafios e oportunidades do ecossistema quântico brasileiro, com foco em quatro eixos essenciais: hardware quântico; infraestrutura e redes quânticas; cibersegurança e criptografia pós-quântica; e formação de recursos humanos especializados.

## **Desafios em Hardware, Algoritmos e Software Quântico**

O ponto de partida para qualquer ecossistema quântico robusto é o desenvolvimento de hardware nacional. Embora avanços importantes tenham sido feitos globalmente, a construção de bits quânticos, os qubits, funcionais e estáveis continua sendo uma das barreiras mais complexas. Dispositivos quânticos são intrinsecamente sensíveis ao ambiente: ruído térmico, vibrações, instabilidades eletromagnéticas e imperfeições materiais comprometem diretamente a fidelidade das operações.

No caso do Brasil, essa dificuldade é agravada pela dependência de equipamentos importados e pela ausência de linhas de fabricação e caracterização de materiais quânticos em escala. A criação de laboratórios nacionais capazes de produzir componentes como:

- qubits supercondutores,
- fontes de fótons emaranhados,
- ressonadores,
- chips para fotônica integrada,
- repetidores e roteadores quânticos,

seria crucial para reduzir a vulnerabilidade tecnológica e fortalecer a soberania científica. Além de atender às necessidades de pesquisa, essa capacidade fabril permitiria ao país participar de cadeias globais de suprimento em uma área que tende a se tornar estratégica para a indústria de alta tecnologia.

O domínio do hardware é também indispensável para avançar em áreas como computação quântica, comunicação quântica e sensoriamento de precisão, especialmente em aplicações relacionadas à defesa, finanças, metrologia e monitoramento ambiental.

O avanço das tecnologias quânticas também exige o desenvolvimento de algoritmos e ferramentas de software capazes de explorar plenamente as propriedades dos qubits. Criar algoritmos que apresentem vantagem real sobre métodos clássicos requer novas bases conceituais e o uso de simuladores quânticos em máquinas de alto desempenho, etapa fundamental enquanto o hardware ainda é limitado. Além disso, o ecossistema de software quântico, incluindo linguagens, compiladores e frameworks, ainda carece de padronização e maior eficiência. Superar esses desafios é crucial para transformar resultados experimentais em aplicações quânticas práticas e escaláveis.

## **Infraestrutura e Redes Quânticas**

As redes quânticas constituem a espinha dorsal da comunicação quântica e de diversas aplicações emergentes. Elas permitem que estados quânticos sejam transmitidos entre dispositivos distantes, criando possibilidades como:

- distribuição de chaves quânticas (QKD);
- interconexão de computadores

quânticos;

- redes de sensoriamento quântico distribuído;
- experimentos multi-institucionais em larga escala.

Apesar dos recentes avanços na área, ainda não há uma pilha de protocolos madura e integrada para comunicação quântica, o que dificulta a interoperabilidade entre equipamentos e instituições. É necessária uma arquitetura de rede quântica que vá além de demonstrações pontuais e permita sua expansão gradual em nível metropolitano, regional e nacional.

Para isso, são fundamentais:

1. **Protocolos padronizados** que garantam comunicação eficiente entre diferentes dispositivos e plataformas;
2. **Infraestrutura óptica dedicada**, com fibras de baixíssima atenuação e suporte a enlaces híbridos quântico-clássicos;
3. **Sistemas de sincronização e controle** capazes de gerenciar emissões, detecções e medições quânticas em tempo real;
4. **Testbeds nacionais**, nos moldes dos grandes centros internacionais, que permitam experimentação contínua e formação de especialistas.

O Brasil já conta com iniciativas embrionárias, como redes metropolitanas piloto em alguns centros de pesquisa, como Rio de Janeiro, Salvador e Recife, mas ainda falta escala, padroniza-

ção e integração nacional. O desenvolvimento de repetidores quânticos, dispositivos essenciais para permitir comunicação a longas distâncias, é outro ponto crítico e estratégico.

## Segurança e Criptografia Pós-Quântica

Um dos pontos mais sensíveis em relação à computação quântica, é o impacto dos computadores quânticos sobre a segurança digital global. Algoritmos criptográficos amplamente utilizados atualmente, como RSA e ECDSA, podem se tornar vulneráveis diante de computadores quânticos suficientemente poderosos. Essa ameaça torna urgente a adoção de criptografia resistente a ataques quânticos.

A transição para a criptografia pós-quântica (PQC) envolve muito mais do que substituir algoritmos. Trata-se de um processo complexo que requer:

- adaptação de sistemas legados;
- testes de interoperabilidade;
- revisão de protocolos de rede;
- mudanças regulatórias;
- formação de especialistas em segurança quântica;
- certificação e normalização de soluções nacionais.

Nesse contexto, é necessário desenvolver algoritmos e implementações nacionais adaptadas às demandas do país, especialmente para sistemas críticos do governo, bancos e setores industriais estratégicos. Além da PQC, a comunicação quântica via QKD tam-

bém desponta como alternativa para aplicações que exigem máxima segurança, embora ainda enfrente desafios de custo, escalabilidade e padronização.

## **Formação de Recursos Humanos e Ecosistema Nacional**

O avanço das tecnologias quânticas depende diretamente da disponibilidade de profissionais altamente qualificados. O desenvolvimento da área, exige competências interdisciplinares, que exige domínio simultâneo em física, computação, engenharia, matemática e materiais avançados.

Atualmente, o Brasil enfrenta limitações importantes para o avanço das tecnologias quânticas. Há poucos cursos de graduação e pós-graduação que ofereçam trilhas específicas em computação ou comunicação quânticas, o que reduz a formação de especialistas na área. Soma-se a isso a falta de laboratórios didáticos e de pesquisa com infraestrutura robusta, elemento essencial para o desenvolvimento de competências práticas e experimentais. Outro desafio é a dificuldade de atrair estudantes para um campo de alta complexidade, que exige forte base interdisciplinar. Além disso, o país ainda carece de programas nacionais de mobilidade, cooperação e capacitação, fundamentais para estimular a troca de conhecimento, a formação continuada e a consolidação de um ecossistema científico mais integrado.

A superação dessa lacuna exige políticas públicas dedicadas, incluindo:

1. **Curriculos interdisciplinares** que integrem física quântica aplicada, engenharia quântica e ciência da computação;
2. **Programas de capacitação contínua**, com escolas de verão, hackathons e desafios nacionais;
3. **Parcerias internacionais estruturadas**, incluindo estágios, intercâmbios e projetos multilaterais;
4. **Incentivos à formação de redes de pesquisa**, articulando universidades, institutos de pesquisa e empresas.

Sem esse investimento massivo em capital humano, qualquer avanço em hardware, redes e segurança permanecerá limitado.

## **Conclusões e Perspectivas**

As tecnologias quânticas representam um divisor de águas para o futuro da inovação, segurança digital e competitividade econômica. O Brasil dispõe de competências relevantes, grupos de pesquisa consolidados e potencial científico para ocupar espaço significativo na revolução quântica. Contudo, sem ações coordenadas, especialmente em hardware, redes, PQC e formação de especialistas, o país corre o risco de ampliar sua dependência tecnológica em áreas altamente estratégicas.

Construir um ecossistema quântico nacional é um desafio complexo, que

exige visão de longo prazo, investimentos contínuos e cooperação multissetorial, sendo também uma oportunidade histórica para reposicionar o país na fronteira da ciência e da inovação.

---

## Referências

1. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Computação no Brasil 2025-2035. Coordenação André Luís de Medeiros Santos e Flávio Rech Wagner. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.
2. Nielsen, M.; Chuang, I. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge UP, 2010.
3. NIST. Post-Quantum Cryptography Standardization. 2024.
4. Dowling, J.; Milburn, G. Quantum Technology: The Second Quantum Revolution. 2003.



**ANTÔNIO ABELÉM** é Professor Titular da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde integra o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Computação desde sua criação. Lidera o laboratório de pesquisa em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM), conduzindo projetos nacionais e internacionais em redes quânticas, protocolos para Internet Quântica e segurança de redes. Coordenou iniciativas como Protocolos de Roteamento para Internet Quântica e integra projetos estratégicos como EcoSustain, o ICONIOT, Smartness e OpenRAN@Brasil. É o coordenador do Grupo de Interesse de Computação e Comunicação Quânticas (GI-CQ). É Pesquisador de Produtividade do CNPq, membro do conselho da SBC e foi pesquisador visitante em UMASS Amherst (2019-2020). Recebeu em 2024 o prêmio de Pesquisador Destaque do SBRC por suas contribuições científicas e à SBC.

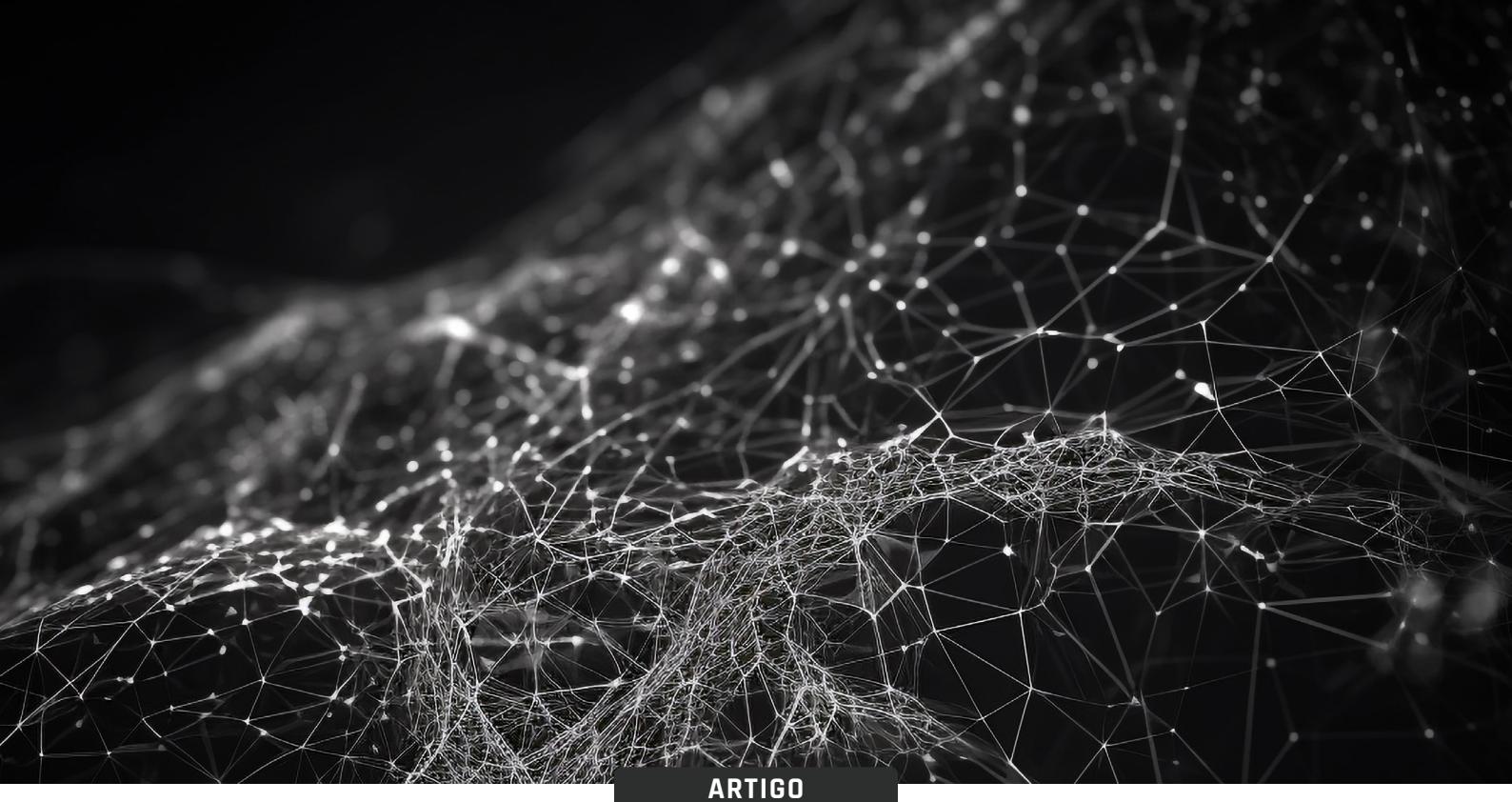


# Reconhecendo quem transforma o futuro com inovação.

Participe do concurso  
Selo de Inovação SBC de 2026.

SUBMETA SEU PROJETO INOVADOR!





ARTIGO

# ACESSO UNIVERSAL E SIGNIFICATIVO À INTERNET ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, RESILIENTE E SEGURO DE INFRAESTRUTURAS UBÍQUAS DE COMUNICAÇÃO

POR

*Lisandro Zambenedetti Granville, Luciano Paschoal Gaspari*  
[granville@inf.ufrgs.br](mailto:granville@inf.ufrgs.br), [paschoal@inf.ufrgs.br](mailto:paschoal@inf.ufrgs.br)

AInternet consolidou-se como infraestrutura essencial para a vida contemporânea, permeando atividades econômicas, governamentais, científicas, educacionais e culturais. Apesar disso, sua universalização ainda enfrenta barreiras relacionadas à disponibilidade, qualidade e uso efetivo dos serviços digitais. Estudos recentes mostram que estabilidade, velocidade adequada, segurança, acessibilidade e habilidades digitais são tão determinantes quanto a simples presença de infraestrutura para garantir conectividade efetiva [1]. A pandemia de COVID-19 expôs com clareza essas desigualdades, revelando limitações que afetam tanto áreas urbanas quanto regiões remotas.

O Grande Desafio do Acesso Significativo à Internet, proposto em 2025 pela Sociedade Brasileira de Computação, articula uma visão abrangente que combina avanços tecnológicos, inclusão social, sustentabilidade ambiental e proteção de dados. Essa agenda dialoga com recomendações internacionais de organismos como a ONU e a ITU, além

de se alinhar aos indicadores produzidos pelo CETIC.br [1]. A natureza multidisciplinar do desafio exige cooperação entre governo, academia, setor produtivo e sociedade civil para promover uma Internet verdadeiramente inclusiva.

## O Desafio do Acesso Universal e Significativo

O conceito de acesso significativo estrutura a abordagem deste Grande Desafio. Ele envolve não apenas a existência de infraestrutura de rede, mas a capacidade de utilizá-la plenamente, com a satisfação de requisitos como confiabilidade, segurança, eficiência e acessibilidade. A conectividade deve viabilizar participação social, inclusão produtiva, inovação científica e acesso equitativo a serviços essenciais. Para tanto, é necessário enfrentar simultaneamente desafios tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais.

Do ponto de vista tecnológico, o desafio requer o desenvolvimento de infraestruturas de comunicação escaláveis, resilientes e energeticamente eficientes. A demanda crescente por banda larga, impulsionada por aplicações intensivas em dados, serviços em nuvem e dispositivos móveis, exige redes de alta capacidade e baixa latência. A evolução de tecnologias como fibras ópticas, 5G, 6G e redes não terrestres cria oportunidades importantes, mas também aumenta a complexidade operacional. Eventos climáticos extremos e desastres naturais, cujo impacto vem sendo detalhado por avaliações científicas recentes [2], refor-

çam a necessidade de arquiteturas capazes de sobreviver a falhas e se recuperar rapidamente, como discutido em estudos clássicos sobre resiliência de redes [5].

A segurança e a privacidade ganham centralidade nesse contexto. O aumento da superfície de ataque, a disseminação de técnicas maliciosas baseadas em inteligência artificial e a perspectiva de uma era pós-quântica tornam imprescindível o desenvolvimento de mecanismos avançados de proteção. Estratégias de defesa robustas e abordagens de governança voltadas para riscos emergentes tornam-se essenciais em um ambiente de comunicação cada vez mais distribuído e heterogêneo.

A universalização do acesso significativo depende, também, de superar barreiras sociais e cognitivas. Grupos como idosos, populações de baixa renda ou pessoas com menor escolaridade enfrentam dificuldades que vão além da infraestrutura, incluindo falta de confiança, medo de golpes digitais e baixa familiaridade tecnológica. Estudos demonstram que essas percepções influenciam fortemente a exclusão digital [4]. É fundamental que tecnologias e interfaces sejam concebidas de forma sensível às diversidades sociais, culturais e regionais.

A sustentabilidade ambiental é outra dimensão estruturante do desafio. O setor de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) apresenta consumo energético crescente e contribui para emissões relevantes de gases de efeito estufa. Avaliações recentes destacam a necessidade urgente de desenvolver infraestruturas

e softwares energeticamente eficientes, além de adotar práticas de engenharia verde [6–11]. O acesso significativo deve, portanto, ser promovido de modo a não aprofundar impactos ambientais existentes.

## **Avanços, Iniciativas e Oportunidades**

O Brasil dispõe de iniciativas estratégicas associadas ao enfrentamento do Grande Desafio do Acesso Significativo à Internet. Os estudos do CETIC.br oferecem diagnóstico preciso sobre desigualdades regionais e socioeconômicas, permitindo orientar políticas públicas com maior eficácia [1]. Programas nacionais e estaduais de expansão de redes ópticas – como o Norte Conectado – ampliam a capilaridade da infraestrutura em regiões historicamente desassistidas. A Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) desempenha papel fundamental na integração de instituições acadêmicas e científicas, oferecendo uma plataforma avançada que fomenta inovação, experimentação e formação de recursos humanos especializados.

Em âmbito internacional, organismos como a ITU e a ONU têm reforçado que a inclusão digital plena depende de indicadores que combinem disponibilidade de rede, qualidade de acesso, regularidade de uso, segurança e habilidades digitais. Essas orientações convergem com a abordagem adotada no presente desafio.

A próxima década apresenta oportunidades significativas para reconfigurar arquiteturas de redes e práticas de operação. A automação inteligente pode reduzir significativamente os tempos de

resposta e custos operacionais, além de ampliar a eficiência energética. Técnicas de programação avançada do plano de dados e soluções de virtualização oferecem maior flexibilidade e permitem adaptação contínua da infraestrutura [3]. A integração entre tecnologias móveis, ópticas e satelitais tem potencial para reduzir assimetrias territoriais. Na esfera da segurança, abordagens zero-trust e soluções preparadas para a era pós-quântica tornam-se cada vez mais necessárias. No campo ambiental, diretrizes internacionais sugerem que algoritmos, sistemas e datacenters devem ser projetados para reduzir emissões e otimizar consumo energético [7–11].

## **Considerações finais**

O Grande Desafio do Acesso Significativo à Internet sintetiza uma agenda estratégica para promover conectividade inclusiva no Brasil. Ele articula avanços científicos, tecnológicos, práticas de sustentabilidade, medidas de segurança, mecanismos de inclusão e ações de governança capazes de orientar políticas e pesquisas na área. A Computação desempenha papel determinante ao fornecer métodos, ferramentas e modelos que sustentam a construção de infraestruturas resilientes, seguras e energeticamente eficientes. O enfrentamento do desafio exige colaboração contínua entre universidades, governo, setor produtivo e sociedade civil, com o objetivo de garantir que a Internet cumpra plenamente seu papel como instrumento de equidade, inovação e desenvolvimento nacional.

---

**Referências:**

1. CETIC.br. Conectividade significativa: propostas para medição e o retrato da população no Brasil. 2024. Disponível em: <https://cetic.br/pt/publicacao/conectividade-significativa-propostas-para-medicao-e-o-retrato-da-populacao-no-brasil/>. (Acesso em: novembro de 2025). IPCC. Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, 2023, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
2. da Costa Cordeiro, W.L., Marques, J.A. & Gaspary, L.P. Data Plane Programmability Beyond OpenFlow: Opportunities and Challenges for Network and Service Operations and Management. *J Netw Syst Manage* 25, 784-818 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10922-017-9423-2>.
3. Holgersson, J., Kävrestad, J., Nohlberg, M. (2021). Cybersecurity and Digital Exclusion of Seniors: What Do They Fear? In: Furnell, S., Clarke, N. (eds) Human Aspects of Information Security and Assurance. HAISA 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 613. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81111-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81111-2_2).
4. Sterbenz, J. P., Hutchison, D., Äetinkaya, E. K., Jabbar, A., Rohrer, J. P., Schöller, M., & Smith, P. (2010). Resilience and survivability in communication networks: Strategies, principles, and survey of disciplines. *Computer Networks*, 54(8), 1245-1265.
5. Ayers, Seth; Ballan, Sara; Gray, Vanessa; McDonald, Rosie. Measuring the Emissions and Energy Footprint of the ICT Sector: Implications for Climate Action (English). Washington, D.C.: World Bank Group. 2021. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099121223165540890>
6. IEA (2024). Electricity 2024. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>.
7. European Union. Energy Efficiency Directive. 2024.
8. R. D. Caballar, "We Need to Decarbonize Software: The Way We Write Software has Unappreciated Environmental Impacts," in *IEEE Spectrum*, vol. 61, no. 4, pp. 26-31, April 2024, doi: 10.1109/MSPEC.2024.10491388.
9. GHG Protocol. Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. (2024).
10. T. C. Fishman, "Climate Tech: The AI Boom Rests on Billions of Tonnes of Concrete: Why Tech's Climate Pledges Require the Reinvention of Concrete," *IEEE Spectrum*, vol. 61, no. 11, pp. 58-69, Nov. 2024, doi: 10.1109/MSPEC.2024.10748563



**LISANDRO ZAMBENEDETTI GRANVILLE** possui doutorado (2001) e mestrado (1998) em Ciência da Computação pela UFRGS. Atualmente, é Professor Titular no Instituto de Informática da UFRGS e atua no Grupo de Redes de Computadores, conduzindo projetos de pesquisa nas áreas de gerenciamento de redes e serviços. Realizou estágio como pesquisador visitante na Universidade de Twente (Holanda) entre setembro de 2007 e agosto de 2008. Foi Presidente da Sociedade Brasileira de Computação (2015-2019), Diretor do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Digitais em Informação e Comunicação da RNP (2009-2020), membro do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br, 2008-2025) e Executive Chair da IEEE GLOBECOM 2022. Foi membro de comitês assessores do CNPq e FAPERGS, além de integrar conselhos editoriais de periódicos na área, como TNSM, IJNM e JNSM. Recebeu o prestigiado Prêmio Salah Aidarus da IEEE Communications Society em 2022 e, em 2025, recebeu o Prêmio Newton Faller da SBC. É atual Diretor-Geral da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP). O Prof. Granville é autor de dezenas de publicações em periódicos internacionais e tem histórico expressivo na organização e coordenação de eventos científicos de destaque. Mais detalhes sobre sua trajetória podem ser encontrados em <http://www.inf.ufrgs.br/~granville/>.



**LUCIANO PASCHOAL** possui doutorado em Ciência da Computação (UFRGS, Brasil, 2002). Atualmente, é Diretor e Professor Titular no Instituto de Informática da UFRGS. Foi Vice-Diretor do Instituto de 2016 a 2024. Atuou como Editor-Chefe do *Journal of Network and Systems Management* (JNSM) de 2019 a 2022. Trabalhou como Diretor do Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC) de 2008 a 2014 e, de 2009 a 2013, foi Diretor Administrativo da Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Tem se envolvido na área de gerenciamento de redes e serviços por mais de 25 anos. Recebeu o prestigiado Prêmio Dan Stokesberry da IEEE Communications Society em 2023 em reconhecimento às suas contribuições técnicas para o crescimento da área. Nos últimos anos, seu grupo tem trabalhado principalmente em cibersegurança e programabilidade do plano de dados para resolver problemas de gerenciamento emergentes. É autor de mais de 160 artigos completos publicados em periódicos internacionais de renome e possui um histórico de dedicação a diversas atividades de pesquisa, incluindo a coordenação de diversos eventos. Mais detalhes sobre a trajetória do Prof. Gaspary podem ser encontrados em <http://www.inf.ufrgs.br/~paschoal/>.



ARTIGO

# COMPUTAÇÃO SUSTENTÁVEL PARA A REDUÇÃO DO IMPACTO SOCIOAMBIENTAL NO DESENVOLVIMENTO DE MODERNAS APLICAÇÕES

POR

Carro, Luigi; Cordeiro, Daniel  
[carro@inf.ufrgs.br](mailto:carro@inf.ufrgs.br), [daniel.cordeiro@usp.br](mailto:daniel.cordeiro@usp.br)

**A**s Nações Unidas consideram que o mundo está em estado de emergência climática. As emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas à queima de combustíveis fósseis foram suficientes para elevar a temperatura média global entre 1,1 e 1,2 °C [1]. Desde 2015, o Brasil é signatário do Acordo de Paris, tratado internacional que abrange mitigação, adaptação e financiamento de ações voltadas ao enfrentamento das mudanças climáticas. Em seu Plano Clima, que subsidiou a nova Contribuição Nacionalmente Deter-

minada (NDC, na sigla em inglês), que define as metas de mitigação e adaptação do Brasil para 2035 no âmbito do Acordo de Paris, o governo brasileiro se comprometeu a reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa entre 59% e 67% até 2035, em relação aos níveis de 2005 [2].

Os avanços significativos em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), ciência de dados e inteligência artificial nas últimas décadas oferecem oportunidades promissoras para aplicar essas inovações em prol do meio ambiente. No

entanto, o progresso da computação e a crescente complexidade dos problemas abordados têm gerado uma demanda substancial por energia.

Estima-se que o setor de TIC seja responsável pelo uso de 5 a 6% de toda a energia produzida no mundo. Segundo relatório do Banco Mundial e da União Internacional das Telecomunicações da ONU, TICs foram responsáveis por pelo menos 1,7% de todas as emissões globais de gases de efeito estufa, enquanto outros estudos alertam que o setor pode ser responsável por até 4% de todas as emissões. Para efeito de comparação, o setor de aviação contribuiu com 2% das emissões de GEE em 2022.

A Agência Internacional de Energia alerta para uma tendência de forte aumento na demanda de energia [4]. O aumento do uso de tecnologias de Blockchain e de Inteligência Artificial poderá fazer com que o consumo de energia por data centers passe de 460 TWh (2% da demanda global em 2022) para o dobro até 2026; um aumento na demanda global de energia equivalente à adição de ao menos uma Suécia e no máximo uma Alemanha.

Tal tendência é insustentável. Não só a Computação passa a ser uma das grandes responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa mundiais, como também torna o acesso a essas novas tecnologias restrito àqueles que tiverem condições econômicas e políticas de prover e ter acesso a tamanha quantidade de energia. Enquanto países desenvolvidos promovem iniciativas como o Energy Efficiency Directive da União Europeia, que limitam

a quantidade de energia que pode ser utilizada por data centers e implementa políticas públicas de uso de energia renovável, países emergentes como o Brasil podem ser incapazes de aumentar a produção e distribuição de energia em tempo hábil e ter seu acesso a essas tecnologias limitado, aumentando a exclusão digital e prejudicando a soberania digital do país.

Reducir o impacto socioambiental da Computação é um grande (e urgente) desafio que envolve um trabalho de otimização em várias camadas, desde o desenvolvimento das aplicações até a sua execução em plataformas de computação.

Por um lado, precisamos de novas tecnologias que nos auxiliem a desenvolver software de baixo carbono [5]. O fim da Lei de Moore e o aumento da carga de trabalho computacional não permitirão que apenas melhorias no hardware sejam eficazes para limitar o consumo de energia da Computação. Para a criação de software de baixo carbono, precisamos trabalhar nos seguintes problemas que ainda requerem mais pesquisa científica:

**Algoritmos Energeticamente Eficientes:** desenvolver algoritmos que resolvam problemas computacionais de maneira energeticamente eficiente através da otimização e do uso consciente dos recursos, mediante técnicas diversas, tais como computação aproximada e algoritmos aproximados, obtendo soluções subótimas, porém, acuradas para o destino a que se presta;

**Métodos de Programação Conscientes:** o desenvolvimento de aplicações eficientes em energia e emissões deve permitir que

programadores monitorem seu desempenho e informem aos sistemas de execução características que os ajudem a otimizar os recursos computacionais, por exemplo, ao classificar tarefas de uma aplicação como sendo tarefas em lote (batch) ou iterativas, o gerenciador de recursos pode tomar decisões que minimizem o custo e recursos energéticos da execução, como postergar tarefas não urgentes ou movendo-as para outras localidades com mais disponibilidade de energias de baixo carbono. Hoje há escassez de programadores com treinamento adequado em técnicas de redução do consumo energético;

**Automação Inteligente:** desenvolver ferramentas que automatizem a aplicação de técnicas de redução de energia, tornando-as mais acessíveis aos programadores (por exemplo, perfiladores que permitam avaliar o desempenho computacional de uma aplicação considerando todos os escopos do Protocolo GHG).

De outro lado, o gerenciamento de recursos ciente de emissões permitirá que a execução dos softwares de baixo carbono faça melhor uso da energia renovável ou de baixo carbono disponível em diferentes localidades do planeta. Infraestruturas de computação distribuídas de grande escala, tais como plataformas públicas de Computação em Nuvem, permitem que desenvolvedores tenham acesso a recursos computacionais com diferentes níveis de emissões por kWh. Entretanto, ainda cabe ao programador utilizar eficientemente os recursos disponíveis.

A Computação de Alto Desempenho

estuda como otimizar o uso de recursos computacionais para tornar aplicações mais eficientes em termos de diferentes métricas de desempenho. Um desafio será adaptar tais técnicas para que as emissões de gases de efeito estufa sejam consideradas no processo de otimização da execução. Para isso, temos que revisitar as técnicas de computação de alto desempenho para fazer melhor uso de:

**Hardware e Software Especializados:** investir no desenvolvimento de hardware e software especializados para aplicações específicas, como a computação aproximada, a redução de energia em redes neurais, explorando novas arquiteturas e abordagens para considerar os indicadores de energia como fator de qualidade do produto;

**Computação de Alto Desempenho Sustentável:** criar plataformas de computação de alto desempenho que priorizem a eficiência energética e a gestão sustentável de recursos, equilibrando desempenho e consumo. Para tal, é preciso aperfeiçoar o gerenciamento de hardware, o balanceamento de carga e minimizar a movimentação de dados para reduzir o consumo energético.

Computação sustentável não é algo que faça parte dos assuntos comumente estudados por pesquisadores da Computação. Contudo, atualmente, este assunto ganhou relevância suficiente para que seja discutido como uma preocupação transversal em praticamente todas as subáreas da Computação. Em particular, as técnicas para a redução das emissões estão ligadas às áreas de Algoritmos e

Estrutura de Dados, Computação Distribuída, Computação de Alto Desempenho e Arquitetura de Computadores, Engenharia de Software, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores.

Da mesma forma, Computação Sustentável também permeia os demais Grandes Desafios discutidos neste documento, em particular:

**Inteligência Artificial e Ciência de Dados:** é preciso investigar a criação de algoritmos de IA frugais (que façam o mesmo trabalho, mas com modificações que requeiram menos computação) e mais eficientes energeticamente;

**Computação Social:** o impacto da Computação nas mudanças climáticas deve ser uma das métricas a serem usadas para garantir a equidade, a responsabilização, a transparência e a ética do uso de soluções computacionais na sociedade;

**Acesso Universal e Significativo à Internet:** as infraestruturas de comunicação devem ser implantadas com preocupações com a eficiência operacional, o aumento do consumo de energia e a elevação dos níveis de emissão de GEE.

Outras áreas do conhecimento podem contribuir para a redução dos impactos socioambientais da Computação, tais como:

- *Engenharia:* a eficiência energética do hardware e da infraestrutura computacional deve ser aprimorada com novas tecnologias de resfriamento de data centers, de infraestrutura de comunicação, etc.
- *Gestão Ambiental e Engenharia*

*Ambiental:* a gestão do impacto ambiental deve passar a incluir o impacto da Computação, sendo necessário considerar novas métricas de poluição (por exemplo, como considerar o uso de minérios raros como impacto socioambiental da Computação?).

- *Química:* processos de resfriamento e de construção de data centers emitem grandes quantidades de gases de efeito estufa e os estudos realizados na área podem ajudar a reduzir os impactos da Computação. Por exemplo, é sabido que parte significativa do impacto ambiental da construção de novos data centers se deve às emissões relacionadas ao concreto e os avanços nas pesquisas sobre “concreto verde” poderão mitigar esses impactos.
- *Ciências sociais:* pesquisas em Ciências Sociais podem contribuir para melhorar o entendimento dos impactos sociais, culturais e econômicos das emissões de carbono devidas à Computação. Também podem ajudar a definir novas políticas públicas que permitam que a sociedade brasileira possa fazer uso de Computação dentro de parâmetros de sustentabilidade bem definidos.

Além de contribuir com a desaceleração das mudanças climáticas e outros aspectos socioambientais, avanços em Computação Sustentável contribuirão para a obtenção de Sustentabilidade Eco-

nômica – reduzir a ineficiência energética reduzirá os custos de acesso à serviços de computação ao mesmo tempo que a torna mais sustentável – e de Inclusão Digital, já que uma consequência importante do trabalho neste desafio será a diminuição dos custos de acesso aos recursos computacionais, pelo uso de máquinas em que o software consome menos, e consequentemente, CPUs e GPUs menos potentes e mais baratas podem ser utilizadas. Tornar a Computação mais sustentável é, portanto, também torná-la mais democrática.

---

## Referências

1. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. A Emergência Climática. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/climate-emergency>. Acesso em: 11 dez. 2025.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano Clima. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smcl/plano-clima>. Acesso em: 11 dez. 2025.
3. WORLD BANK; INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. Measuring the emissions and energy footprint of the ICT sector: implications for climate action. Washington, DC, 2024.
4. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Electricity 2024: analysis and forecast to 2026. Paris: IEA, jan. 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>. Acesso em: 11 dez. 2025.
5. CABALLAR, R. D. We need to decarbonize software: the way we write software has unappreciated environmental impacts. IEEE Spectrum, v. 61, n. 4, p. 26–31, 2024.



**LUIGI CARRO** é Professor Titular de Ciência da Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Fez doutorado em Computação no Inf-UFRGS no século passado. Já neste século, foi professor visitante na UC San Diego, no Lirmm em Montpellier, no Politecnico di Torino e na TU Delft. Atualmente é bolsista PQ-1A do CNPq. Recebeu em 2007 o prêmio pesquisador Destaque FAPERGS, e em 2021 a Comenda Ordem Nacional do Mérito Científico. Apesar de já ter orientado dezenas de alunos, o prof. Luigi acredita que a falta de mão de obra qualificada é ainda um grande problema.



**DANIEL CORDEIRO** é professor da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, mestre em Ciência da Computação pela USP e doutor em Mathématiques et Informatique pela Université Grenoble Alpes. Sua pesquisa se concentra em Computação Sustentável, com enfoque em Computação de Alto Desempenho e Teoria de Escalonamento, buscando mitigar o impacto ambiental por meio da gestão de recursos cliente de emissões em sistemas distribuídos de larga escala, bem como no uso da Computação para tornar as cidades mais inteligentes e sustentáveis.



ARTIGO

# A NOVA AGENDA DIGITAL: ÉTICA, INCLUSÃO, SUSTENTABILIDADE, PARTICIPAÇÃO E EQUIDADE NA COMPUTAÇÃO

POR

Claudia Cappelli  
[claudia.cappelli@gmail.com](mailto:claudia.cappelli@gmail.com)

**A**Computação permeia todas as atividades humanas contemporâneas. O avanço rápido da Inteligência Artificial, das plataformas digitais e da automação cria oportunidades, mas também amplia desigualdades e riscos sociais. Nesse cenário, discutir ecossistemas computacionais éticos, inclusivos e sustentáveis deixa de ser somente um tópico transversal na Computação e é um ponto central e estratégico para o desenvolvimento de tecnologia [4].

O documento "Grandes Desafios da

Computação no Brasil 2025–2035" da SBC [6] apresenta, nos desafios para a Área de Computação nos próximos 10 anos, quatro elementos essenciais para essa discussão: (i) a necessidade da existência de ecossistemas éticos, inclusivos e sustentáveis; (ii) a formação de profissionais capazes de atuar nesse cenário; (iii) a construção de abordagens educacionais alinhadas à ética, inclusão e cidadania digital e (iv) a necessidade de desenvolvimento de recomendações estruturadas para o setor público e para políticas de tecnologia.

Essas quatro dimensões são detalhadas na sequência.

### **A - Ecossistemas Computacionais Éticos, Inclusivos e Sustentáveis**

Este item [6] mostra que desenvolver ecossistemas computacionais éticos vai muito além da criação de sistemas livres de vieses. Trata-se de projetar tecnologia com uma visão de sociedade, considerando diversidade, participação social e impactos a longo prazo [7]. Para isso, tais ecossistemas devem: (i) alinhar tecnologia e princípios éticos, garantindo transparência e responsabilidade; (ii) promover diversidade cultural e inclusão digital como pilares estruturantes; (iii) incorporar práticas interdisciplinares, combinando Computação com áreas como Ciências Sociais, Filosofia, Comunicação e Direito; (iv) atuar como ferramenta de empoderamento, permitindo a participação ativa de cidadãos e comunidades na tomada de decisão; e (v) reduzir desigualdades e fortalecer políticas públicas baseadas em dados. Desta forma, a Computação passa a não ser somente uma infraestrutura técnica, mas um ambiente capaz de influenciar valores, comportamentos e políticas [5].

### **B - Formação de Recursos Humanos para um Futuro Inclusivo**

Este item [6] reforça que nenhuma transformação tecnológica será sólida se não existir investimento na formação humana. A Computação exige profissionais capazes de lidar com complexidade, diversidade e responsabilidade ética [7].

Para isso são apontadas quatro dimensões fundamentais: (i) inovação e formação continuada – Programas de capacitação contínua e parcerias entre universidades e setor produtivo; (ii) interdisciplinaridade – Demanda por diálogo entre Computação, Ciências Sociais, Filosofia, Engenharia e Saúde; (iii) inclusão digital e ética – Formar profissionais conscientes sobre os impactos sociais e éticos da Computação; e (iv) infraestrutura e colaboração – Redes de cooperação e investimentos adequados fortalecem pesquisa, ensino e inovação. Essa abordagem forma pessoas preparadas para compreender que a tecnologia molda a sociedade.

### **C - Educação para Ética, Inclusão e Cidadania Digital**

Este item [6] amplia a discussão ao afirmar que construir ecossistemas éticos e inclusivos depende também de mudanças profundas na educação em Computação. Aqui são identificados desafios como: (i) poucas disciplinas sobre ética, cidadania e inclusão digital nos currículos tradicionais; (ii) dificuldade de integrar aspectos sociotécnicos a cursos mais técnicos, muitas vezes por falta de profissionais com essa formação; e (iii) necessidade de incorporar visões interdisciplinares na formação de novos profissionais. Também traz recomendações importantes como inserir Ética em Computação nos currículos e estimular reflexão crítica sobre o papel da tecnologia na sociedade. A agenda é transformar a maneira como formamos profissionais, colocando pessoas, sociedade e território no centro da inovação tecnológica.

## **D - Políticas Públicas para Ecossistemas Digitais Éticos, Inclusivos e Sustentáveis**

A partir de todos os pontos apresentados anteriormente [6], é necessário propor diretrizes como a criação de uma política de tecnologia centrada no cidadão, onde governos devem: (i) incorporar diretrizes de ética, participação social e acessibilidade em seus sistemas digitais, favorecendo processos transparentes e inclusivos; (ii) incrementar o fomento à pesquisa interdisciplinar através da implementação de programas públicos para incentivar projetos; (iii) criar uma governança ética de dados e algoritmos com a adoção de frameworks que incluam auditoria de algoritmos, métricas de impacto social e mecanismos de prestação de contas; (iv) realizar investimentos em formação docente e infraestrutura educacional para fortalecer a formação de profissionais multidisciplinares; e (v) promover a inovação social em tecnologia.

### **Inovação Social: Integrando Tecnologia, Responsabilidade Social e Diversidade na Construção de Ecossistemas Computacionais**

A construção de ecossistemas computacionais éticos, inclusivos e sustentáveis não depende somente de decisões técnicas. Ela exige uma articulação entre tecnologia, responsabilidade social e diversidade – três dimensões que determinam como as soluções digitais moldam o cotidiano das pessoas, afetam direitos fundamentais e influenciam oportunidades sociais. Para que se avance nessa direção, é preciso compreender que ecossistemas computacionais não são somente redes

tecnológicas; são também redes humanas, políticas, institucionais e culturais [8].

O eixo central para isso é a inovação social, que amplia a noção de inovação tecnológica para incluir impacto social, transformação territorial e engajamento comunitário [3]. Ela, aplicada à Computação, estimula equipes multidisciplinares a criar soluções sustentáveis, centradas no usuário e orientadas para necessidades reais – como serviços públicos acessíveis, plataformas de participação social, aplicativos de saúde comunitária, monitoramento ambiental e iniciativas de combate à desinformação. Populações vulneráveis – em especial comunidades periféricas, grupos racializados, mulheres, povos tradicionais e pessoas com deficiência – enfrentam barreiras de acesso, letramento digital e participação em processos de tomada de decisão.

### **Desenvolvimento de sistemas voltado à Ética, Inclusão e Sustentabilidade**

A Engenharia de Software desempenha papel estratégico na construção de ecossistemas computacionais, por definir como estes são projetados, desenvolvidos, testados e mantidos. Para apoiar um futuro digital responsável, práticas de Engenharia de Software devem incorporar princípios sociotécnicos em todas as etapas do ciclo de vida dos sistemas. Durante o processo de desenvolvimento deve-se exigir padrões éticos mínimos para softwares. Isso inclui: (i) auditoria e explicabilidade de algoritmos, garantindo que decisões automatizadas possam ser compreendidas, contestadas e monitora-

das; (ii) uso de dados com transparência e responsabilidade, respeitando princípios de equidade e evitando viés discriminatório; (iii) adoção de padrões de acessibilidade digital em todas as plataformas públicas; e (iv) incentivo à participação cidadã na avaliação de impacto social de sistemas.

A pesquisa nesta área [2] precisa avançar em três frentes principais: (i) modelos e metodologias que permitam avaliar efeitos sociais na definição de requisitos e arquitetura; (ii) processos e ferramentas capazes de medir impacto, rastrear decisões algorítmicas e detectar vieses ou riscos emergentes; e (iii) estruturas de pesquisa que unam Computação, Ciências Sociais, Antropologia, Filosofia e Direito para investigar os efeitos sociotécnicos dos softwares.

A ética, inclusão e sustentabilidade não devem ser somente elementos transversais aos processos de desenvolvimento de software [1], mas sim princípios contínuos na definição de requisitos,

---

arquitetura, implementação, validação e na manutenção.

## Conclusão

Construir ecossistemas computacionais éticos, inclusivos e sustentáveis que promovam a participação e a equidade não é somente um desejo, mas uma necessidade estratégica para o mundo. Ao integrar ética, diversidade, cidadania digital e interdisciplinaridade, a Computação pode se tornar uma ferramenta poderosa para reduzir desigualdades e promover participação social.

O futuro digital depende de investimento em formação humana, políticas públicas responsáveis e tecnologias desenvolvidas com base em valores sociais. Os desafios são grandes, mas o caminho está bem delineado: tecnologia não deve ser apenas eficiente, deve ser justa.

## Referências

1. EUBOEUL; AI High level Expert Group. Ethics Guidelines for Trustworthy AI. European Commission, 2019.
2. Friedman, Batya.; Hendry, David. Value Sensitive Design: Shaping Technology with Moral Imagination. Cambridge: MIT Press, 2019.
3. NESTA Innovation Foundation. Guide to Social Innovation in Digital Government. Londres: NESTA, 2020.
4. OECD. The Path to Becoming a Data-Driven Public Sector. OECD Digital Government Studies. Paris: OECD Publishing, 2019.
5. Raso, Filippo and Hilligoss, Hannah and Krishnamurthy, Vivek and Bavitz, Christopher and Kim, Levin Yerin, Artificial Intelligence & Human Rights: Opportunities & Risks, 2018. Berkman Klein Center Research Publication No. 2018-6, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3259344>
6. Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Grandes Desafios da Computação no Brasil 2025–2035. Porto Alegre: SBC, 2025.
7. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Paris: UNESCO, 2021.
8. DR. SANA RAUF. Digital Inequality and the Future of Work: A Socioeconomic Analysis of Remote Labor Trends. International review of business and social sciences, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 18–25, 2021. Disponível em: <https://irbss.org/index.php/IRBSS/article/view/8>. Acesso em: 10 dec. 2025.



**CLAUDIA CAPPELLI** é doutora em Ciência de Computação. Especialista em Linguagem Simples e Transparéncia da Informação. Professora da graduação, mestrado e doutorado da UERJ. Fundadora do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Democracia Digital (INCT-DD). Representante da SBC no Comitê Consultivo da Estratégia Nacional de Governo Digital do MGI. Gestora do Linguagem Simples LAB. Representante do Brasil na Clarity. Membro da Plain Internacional. Atua nos temas de Transparéncia, Linguagem Simples, Gestão de Processos de Negócio, Arquitetura Corporativa, Gestão de TI e Governo Digital.



**POSCOMP**  
EXAME NACIONAL PARA  
INGRESSO NA PÓS-GRADUAÇÃO  
EM COMPUTAÇÃO

# Vai ter POSCOMP em 2026!

**E PODE CONECTAR O SEU FUTURO  
À PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO.**

**Spoiler:** o Exame Nacional para Ingresso na Pós-Graduação em Computação já tem edição confirmada para este ano.

Reconhecido em todo o país, o POSCOMP é o exame que avalia conhecimentos fundamentais em Computação e apoia o ingresso em Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu, sendo utilizado como critério em processos seletivos e, em alguns casos, para a concessão de bolsas.

**Prova 100% online!**

**SE O SEU PRÓXIMO PASSO É A PÓS-GRADUAÇÃO  
EM COMPUTAÇÃO, FIQUE ATENTO: O POSCOMP VEM AÍ**

Saiba mais sobre o POSCOMP  
acessando: [www.sbc.org.br/poscomp/](http://www.sbc.org.br/poscomp/)





APRESENTAÇÃO II

# GRANDES DESAFIOS DA EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO 2025 - 2035

POR

Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro

[claudiam@nce.ufrj.br](mailto:claudiam@nce.ufrj.br) e [leila@inf.ufrgs.br](mailto:leila@inf.ufrgs.br)

## O Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação

AComputação exerce um papel estratégico e transformador na sociedade contemporânea, permeando não apenas atividades profissionais e acadêmicas, mas também processos sociais, econômicos e culturais. A rápida evolução das tecnologias digitais, incluindo Inteligência Artificial e sistemas cognitivos, impõe desafios complexos à formação de profissionais e cidadãos capazes de compreender, intervir e inovar em contextos socio-

técnicos dinâmicos. Nesse cenário, a **Educação em Computação** assume papel central, não apenas na transmissão de competências técnicas, mas também na construção de capacidades críticas, adaptativas e éticas, que são necessárias para responder às demandas emergentes da sociedade e do mercado.

Desde sua criação, a **Sociedade Brasileira de Computação (SBC)** tem desempenhado um papel central no fortalecimento da Educação em Computação no Brasil, articulando políticas, diretrizes e referenciais de formação em todos os níveis de ensino.

A SBC estruturou **referenciais de formação detalhados para a área da Computação**, definindo habilidades e competências esperadas em diferentes cursos [1,2,3,4], bem como **referenciais atitudinais** [5], que abrangem ética, pensamento crítico, comunicação, trabalho em equipe e responsabilidade socioambiental. Estes documentos fornecem suporte direto à construção de projetos pedagógicos e ao alinhamento das instituições de ensino com as demandas emergentes do setor e da sociedade. As **Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para cursos de graduação da área da Computação no Brasil** [6] foram elaboradas pela SBC e homologadas pelo Ministério da Educação (MEC). Além disso, foi construído também um **referencial de formação para cursos de Pós-graduação** em Computação [7]. Tais iniciativas consolidaram padrões de qualidade e promoveram uma formação que integra competências técnicas, socioemocionais e éticas, refletindo a complexidade do contexto sociotécnico contemporâneo.

No âmbito da **Educação Básica**, a SBC contribuiu significativamente para a inclusão da Computação na **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**, participando de audiências públicas, elaborando manifestações técnicas, como as Diretrizes da SBC para o Ensino de Computação na Educação Básica [8] e integrando grupos de trabalho do Conselho Nacional de Educação. Tais esforços consolidam a Computação como componente estruturante da formação escolar [9], promovendo habilidades digitais, pensamento computacional e cidadania crítica desde os primeiros anos da educação formal.

A Educação em Computação enfrenta desafios complexos e multifacetados, que exigem reflexão crítica, colaboração interdisciplinar e políticas estruturadas. Para discutir essas questões, a SBC organizou o **I Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil**, realizado nos dias 27 e 28 de novembro de 2024 em São Paulo. A chamada pública de trabalhos convidou pesquisadores e profissionais a apresentarem propostas de desafios ou a refinarem desafios previamente identificados, priorizando problemas estratégicos e de alta complexidade, capazes de impactar a formação em Computação na próxima década.

Foram selecionados 25 artigos pelo Comitê de Programa. Os trabalhos escolhidos foram publicados na **Biblioteca Digital da SBC (SBC – OpenLib – SOL)** [10], e os autores gravaram vídeos apresentando suas propostas, disponibilizados previamente aos participantes. O seminário reuniu cerca de 80 pesquisadores, docentes e profissionais, incluindo autores, membros do Comitê de Programa e integrantes da Diretoria e do Conselho da SBC. As atividades incluíram painéis de abertura sobre os **Grandes Desafios da Computação e sobre os Grandes Desafios da Educação em Computação**, seguidos de discussões em grupos temáticos ao longo do segundo dia.

Os participantes foram organizados em cinco grupos, correspondentes aos temas mais prevalentes nos desafios submetidos, cujas contribuições refletem questões críticas para a próxima década da Educação em Computação:

- 1. Inclusão, Diversidade, Equidade e Acessibilidade (IDEA)** – Este desafio enfatiza a integração de IDEA como eixo transversal na Educação em Computação. Apesar de iniciativas relevantes como o Programa Meninas Digitais, a CIDE e o GT-IDEA da SBC, a incorporação desses princípios nos currículos ainda é limitada. O desenvolvimento de políticas públicas, a capacitação docente, a revisão de projetos pedagógicos e as redes de colaboração são essenciais para a construção de ambientes educacionais inclusivos, pluralistas e eticamente comprometidos;
- 2. Métodos e Técnicas de Ensino/Aprendizagem e Ecossistemas Híbridos** – A inovação pedagógica é central para a formação em Computação, envolvendo metodologias ativas, ecossistemas híbridos de aprendizagem, integração de soft skills e avaliação contínua. O desafio busca promover a formação integral e socialmente responsável de profissionais, preparados para atuar em contextos educacionais dinâmicos e colaborativos;
- 3. Formação Docente e Materiais Educacionais Inclusivos na Educação Básica** – A implementação da BNCC Computação e da Política Nacional de Educação Digital demanda atenção à formação de professores, produção de materiais didáticos acessíveis e inclusivos, infraestrutura escolar e articulação entre universidade e escola. O objetivo é consolidar a Computação como componente estruturante da educação básica, promovendo práticas pedagógicas inovadoras e equitativas;
- 4. Habilidades e Competências na formação em Computação** – Este desafio destaca a relevância do efetivo desenvolvimento de competências e habilidades da área de Computação para profissionais de diversas áreas, englobando não apenas competências técnicas, mas também habilidades meta-computacionais que fomentem adaptabilidade, pensamento crítico, resolução de problemas complexos e responsabilidade social. A proposta visa transformar a formação em Computação, preparando profissionais e pesquisadores capazes de atuar em cenários sociotécnicos em constante evolução;
- 5. Inteligência Artificial e Agência na Educação em Computação** – A IA é reconhecida como agente socio-técnico com impacto direto nas práticas educativas. O desafio enfatiza a necessidade de desenvolver estratégias pedagógicas que reconheçam a agência da IA, promovam literacia em IA e considerem implicações éticas, sociais e tecnológicas, preparando a comunidade para integrá-la de forma crítica e responsável.

As discussões realizadas durante o seminário, estruturadas em dinâmicas colaborativas, sessões plenárias e gru-

pos de trabalho, consolidaram recomendações estratégicas, alinharam perspectivas e identificaram caminhos para a próxima década. Neste número da *Computação Brasil*, são apresentados os artigos que resumem esses cinco grandes desafios, enquanto as versões estendidas encontram-se publicadas na **Biblioteca Digital da SBC**, sob o título *Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil 2025–2035* [11].

A publicação desses trabalhos reforça o compromisso da SBC com uma Educação em Computação de **alta qualidade, inclusiva, socialmente responsável e alinhada às demandas contemporâneas**. Que este volume inspire novos diálogos, pesquisas e ações, fortalecendo a construção coletiva de um futuro em que a Computação contribua de forma ética, crítica e sustentável para a sociedade.

## Referências

1. Sociedade Brasileira de Computação. Referenciais de formação para os cursos de graduação em Computação 2017. SBC, 2017.
2. Sociedade Brasileira de Computação. Referenciais de Formação em Inteligência Artificial. SBC, 2023.
3. Sociedade Brasileira de Computação. Referenciais de Formação em Cibersegurança. SBC, 2023.
4. Sociedade Brasileira de Computação. Referenciais de Formação em Ciência de Dados. SBC, 2024.
5. Sociedade Brasileira de Computação. Referencial para Competências Atitudinais. SBC, 2022.
6. Ministério da Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais para cursos de Computação. Brasília: MEC, 2016.
7. Sociedade Brasileira de Computação. Referenciais de Formação para Pós-Graduação stricto sensu em Computação. SBC, 2023.
8. Sociedade Brasileira de Computação. Diretrizes para o Ensino de Computação na Educação Básica. SBC, 2021.
9. Conselho Nacional de Educação. BNCC Computação. Brasília: CNE, 2020.
10. SBC – OpenLib – SOL. I Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil: Trabalhos Apresentados. SBC, 2025.
11. SBC. Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil 2025–2035. SBC, 2025.



**CLAUDIA L R MOTTA** é pesquisadora do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais e atua no Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foi Diretora de Educação da Sociedade Brasileira de Computação (2023-2025), quando organizou o I Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação. Graduada em Informática pelo Instituto de Matemática da UFRJ (1984), com Mestrado em Inteligência Artificial (1989) e Doutorado em Engenharia de Software (1999), ambos pela COPPE/SISTEMAS da UFRJ. Tem participação expressiva em atividades de educação e divulgação científica, com destaque para projetos de pesquisa, publicações e ações de extensão. É líder do Laboratório de Pesquisa em Tecnologias Educacionais e Sociais da UFRJ (SocialEduLab), vice-líder do Grupo de Pesquisas Ábaco da Universidade de Brasília e cofundadora do SuPyGirls, projeto voltado ao empoderamento feminino por meio das tecnologias, chancelado pela SBC. Suas principais áreas de pesquisa são Informática, Educação e Sociedade, Sistemas Colaborativos e Sistemas Complexos Adaptativos.



**LEILA RIBEIRO** é Professora Titular do Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Sua formação é na área de Computação: possui graduação e mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutorado na Universidade Técnica de Berlim (1996). Recebeu em 1999 o Prêmio Santista na área de Informática (categoria Juventude). É a representante brasileira no IFIP Technical Committee 1 (Foundations of Computer Science) e Diretora de Ensino de Computação na Educação Básica da SBC, coordenando e apoiando as ações da SBC para a inclusão de Computação na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e na Educação Básica, como a criação do PROFCOMP (Mestrado Profissional em Ensino de Computação), do CO-EB (Curso de Qualidade em Computação na Educação Básica) e do SBC-EB (Simpósio Brasileiro de Computação na Educação Básica). Suas principais áreas de pesquisa são o Ensino de Computação e os Fundamentos da Computação.



ARTIGO

# FORMAÇÃO DOCENTE E MATERIAIS EDUCACIONAIS INCLUSIVOS PARA O ENSINO DE COMPUTAÇÃO NA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA

POR

Simone André da Costa Cavalheiro e Amaury Antônio de Castro Junior  
[simone.costa@inf.ufpel.edu.br](mailto:simone.costa@inf.ufpel.edu.br) e [amaury.junior@ufms.br](mailto:amaury.junior@ufms.br)

O ensino de Computação na Educação Básica brasileira está em um momento decisivo. A publicação do Complemento à BNCC em Computação [7, 8] e da Política Nacional de Educação Digital [1] colocou o tema na agenda oficial, mas não garante, por si só, que crianças e jovens terão acesso a uma formação sólida e crítica na área. O que os documentos normativos apontam como obrigação legal precisa ser traduzido em práticas pedagógicas consistentes, em condições reais de trabalho para professores e em materiais didáticos que façam sentido para diferentes contextos escolares [11, 12].

Um primeiro ponto é a **formação docente**. O país tem mais de dois milhões de professores na Educação Básica, segundo o Censo Escolar 2023 [9], mas apenas uma pequena fração possui formação específica em Computação. A maioria não domina fundamentos da área e, muitas vezes, associa Computação apenas ao uso de equipamentos e plataformas digitais, sem distinguir entre “usar tecnologia” e “aprender Computação”. Essa visão estreita afasta o foco dos fundamentos e conceitos da Computação delineados na BNCC Computação e pode levar a não tratar, de forma adequada, conceitos centrais como algoritmos, estrutura de dados, redes de computadores e segurança digital. Some-se

a isso a baixa oferta de cursos de licenciatura em Computação, a concentração desses cursos em poucas instituições e o fato de que muitos egressos optam pelo mercado de trabalho fora da escola, atraídos por melhores salários e condições de trabalho. Em paralelo, licenciaturas de outras áreas raramente incluem componentes curriculares que tratem de Computação de forma substantiva, o que deixa pedagogos e demais licenciados sem base para integrar a área às suas práticas.

Esse quadro se agrava quando se consideram as **condições de trabalho docente**. Em muitas redes, professores enfrentam sobrecarga de turmas, acumulação de funções, salários baixos e vínculos instáveis. Nesse contexto, propor formação continuada robusta em Computação, sem mexer em carga horária, carreira e infraestrutura, tende a gerar mais um peso sobre profissionais já extenuados. O risco é transformar a Computação em mais “uma demanda” a ser cumprida, e não em uma oportunidade de qualificar o currículo e a experiência escolar dos estudantes.

Outro eixo decisivo é a **produção de materiais didáticos acessíveis e inclusivos**. Não falta conteúdo de Computação na internet, mas falta material pensado para a Educação Básica brasileira, com linguagem simplificada e pedagógica, adaptada às diferentes etapas de escolarização. As referências existentes frequentemente têm como público-alvo estudantes do ensino superior, abordando conceitos complexos que precisam ser transpostos em formato didático e engajador para o

público básico. Além disso, faltam materiais adequados às realidades diversas de escolas urbanas, rurais, indígenas, quilombolas e periféricas. Muitos recursos existentes desconsideram diferenças linguísticas, culturais e regionais, além de não contemplarem, de forma sistemática, estudantes com deficiência, transtornos de aprendizagem ou em situação de vulnerabilidade. Por isso, os Grandes Desafios da Educação em Computação [11, 12] enfatizam a importância de desenvolver Recursos Educacionais Digitais (REDs) e Recursos Educacionais Abertos (REAs) que sejam acessíveis, contextualizados e acompanhados de orientações pedagógicas claras, bem como de atividades desplugadas [4] que permitam o ensino de Computação em contextos com pouca ou nenhuma infraestrutura tecnológica e a produção de livros com linguagem simplificada. Além disso, torna-se essencial o desenvolvimento de jogos educacionais, brinquedos pedagógicos e outros recursos acessíveis que incentivem o desenvolvimento de habilidades computacionais de maneira plugada e desplugada [4]. Por fim, o uso e desenvolvimento de materiais e dispositivos de baixo custo, que permitam aos alunos o contato com sistemas operacionais básicos, linguagens de programação introdutórias e ferramentas fundamentais para o aprendizado de computação, apresenta-se como alternativa promissora para escolas com infraestrutura limitada.

A perspectiva da **etnocomputação** [6] reforça esse movimento ao defender que Computação não é uma prática neutra ou universal, mas atravessada por culturas, modos de organizar o pensamento e for-

mas de resolver problemas que variam entre povos e comunidades. Inspirada na etnomatemática, essa abordagem propõe valorizar saberes de povos indígenas, comunidades quilombolas, ribeirinhas e periféricas como ponto de partida legítimo para discutir algoritmos, dados e sistemas. Em vez de impor uma única forma “correta” de pensar computacionalmente, abre espaço para diferentes lógicas e linguagens, tornando o ensino de Computação mais plural e próximo da experiência dos estudantes.

As **tendências tecnológicas** também trazem oportunidades e riscos. A integração da Computação com outras áreas do conhecimento aparece como uma das chaves para tornar o ensino relevante e significativo [2]. Projetos interdisciplinares, iniciativas inspiradas em STEAM e uso de metodologias ativas [3] permitem que estudantes utilizem Computação para analisar fenômenos, criar modelos, construir narrativas digitais e desenvolver soluções para problemas do cotidiano. Nesses cenários, Computação passa a ser tornar uma linguagem de expressão e ferramenta de investigação.

Ao mesmo tempo, a presença crescente de **Inteligência Artificial na educação** exige cuidado [10]. Ferramentas de IA prometem personalizar percursos, automatizar correções e oferecer diagnósticos detalhados sobre a aprendizagem. Quando usadas de forma crítica, podem apoiar o trabalho docente, liberando tempo para mediação pedagógica e acompanhamento mais próximo dos estudantes. Mas, sem formação adequada, há o risco de delegar decisões pedagó-

gicas a sistemas opacos, reforçar vieses algorítmicos e aprofundar desigualdades, sobretudo em redes que adotam soluções prontas, padronizadas, sem considerar contextos locais e sem garantir autonomia às escolas .

A implantação de **laboratórios de informática, robótica e espaços maker** é outro exemplo de ambivalência. Bem planejados, integrados ao currículo e sustentados por manutenção e formação, esses ambientes ampliam possibilidades de experimentação, trabalho colaborativo e resolução de problemas, aproximando os estudantes de tecnologias emergentes. Mal planejados, tornam-se salas fechadas, equipamentos obsoletos ou vitrines de projetos desconectados do projeto pedagógico, reforçando uma lógica tecnicista e episódica.

Nesse cenário, a **autonomia escolar** é um ponto de atenção. Políticas que tratam Computação como pacote pronto, com trilhas, plataformas e sequências rígidas, tendem a reduzir a capacidade de escolas e redes adaptarem a área à sua realidade. A perda de autonomia dificulta a construção de projetos pedagógicos que dialoguem com a comunidade e enfraquece o protagonismo docente. Por outro lado, garantir autonomia sem oferecer formação, apoio técnico e recursos é transferir responsabilidades sem dar condições de trabalho. O equilíbrio passa por políticas que combinem diretrizes nacionais claras, suportes estruturantes e espaço real para decisões locais.

Um aspecto central na discussão sobre Educação em Computação é o papel da

**extensão universitária e das parcerias entre universidade e escola.** Projetos de extensão podem articular formação inicial e continuada de professores, desenvolvimento de materiais didáticos, pesquisa aplicada e acompanhamento de experiências de inserção da Computação no currículo. Quando bem desenhados, esses projetos não apenas “levam” conhecimento para a escola, mas constroem, com as escolas, soluções que respondem a demandas reais, fortalecendo tanto a formação de estudantes universitários quanto o trabalho de professores da Educação Básica.

A partir desse diagnóstico, os Grandes Desafios da Educação em Computação sintetizam um conjunto de recomendações. Entre elas, destacam-se:

- **Ampliar e criar cursos de Licenciatura em Computação**, bem como percursos de complementação de estudos, para enfrentar a escassez de professores com formação específica;
- **Inserir componentes de Computação em outras licenciaturas**, especialmente em Pedagogia, de forma articulada à BNCC, promovendo a interdisciplinaridade desde a formação inicial;
- **Fortalecer a formação continuada**, com programas estruturados, redes de colaboração entre docentes e iniciativas como escolas regionais dedicadas à Educação em Computação;
- **Incentivar e fortalecer a inovação em materiais didáticos**: A produção de materiais didáticos para Computação na Educação Básica representa uma fronteira de pesquisa e inovação. Destacam-se três linhas estratégicas: (1) desenvolvimento de conteúdos que promovam interdisciplinaridade, integrando computação a projetos em biologia, matemática e artes; (2) utilização de inteligência artificial generativa para criar materiais personalizados e adaptativos, capazes de se ajustar ao ritmo de aprendizado e aos estilos cognitivos dos alunos; (3) tradução de tecnologias emergentes, como computação quântica, aprendizado de máquina e realidade estendida em experiências lúdicas e concretas acessíveis à Educação Básica;
- **Fomentar a produção e circulação de REAs, REDs e recursos desplugados** acessíveis, inclusivos e contextualizados, além de criar um repositório nacional unificado para apoiar professores;
- **Adaptar programas existentes**, como o Programa Dinheiro Direto na Escola (**PDDE**) e o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (**PNLD**), para financiar infraestrutura, manutenção e materiais didáticos de Computação, e não apenas equipamentos, incluindo a criação da Estratégia Nacional de Escolas Conectadas (Decreto nº 11.713/2023), que visa à universalização da conectividade educacional e oferece assessoria técnica às redes estaduais e munici-

- cipais. Esses marcos regulatórios, complementados pelo Parecer CNE/CEB nº 2/2022 e pela Lei nº 14.533/2023, constituem base sólida para articular políticas que financiem não apenas infraestrutura, mas especialmente a produção e distribuição de materiais didáticos inovadores e acessíveis;
- **Criar incentivos para que licenciados em Computação ingressem e permaneçam na Educação Básica**, incluindo carreira, condições de trabalho e reconhecimento;

- **Estabelecer indicadores nacionais** para monitorar a implementação da Computação nas escolas, com foco em qualidade, equidade e inclusão.

Esses esforços, quando articulados à formação docente continuada, criam um ecossistema que potencializa a efetividade da Educação em Computação. Essas recomendações deixam claro que consolidar a Computação na Educação Básica não é tarefa pontual, mas processo de longo prazo que envolve desde a organização interna de escolas e redes até a elaboração de políticas nacionais e a articulação com o ensino superior [5].

---

## Referências

1. BRASIL. Política Nacional de Educação Digital. Lei nº 14.533, 11 jan. 2023.
2. BRODLEY, C. et al. CS + X – challenges and opportunities in developing interdisciplinary computing curricula. ACM Inroads, v. 15, n. 3, p. 42–50, ago. 2024.
3. CALDERON RIBEIRO, M. I.; PASSOS, O. M. A study on the active methodologies applied to teaching and learning process in the computing area. IEEE Access, 2020.
4. COSTA CURTA, Ana Paula et al. Atividade Desplugada: Ferramenta para combate ao sedentarismo dos nativos digitais na modernidade líquida. Revista Tópicos, v. 2, n. 6, p. 1-12, 2024.
5. DA CONCEIÇÃO SILVEIRA, Bernardo Soares; HORTO, Yann Felipe Spinelli. "Nativos Digitais": Será? A falsa interpretação que leva à exclusão digital na educação brasileira. Anais CIET: Horizonte, 2024.
6. D'AMBRÓSIO, U. Sociedade, cultura, matemática e seu ensino. Educação e Pesquisa, v. 31, n. 1, p. 99–120, 2005.
7. GUARDA, Graziela Ferreira; DURAN, Rodrigo Silva. BNCC computação na educação infantil: entendimento, dificuldades e perspectivas dos docentes da rede pública de ensino. Revista Novas Tecnologias Na Educação, v. 22, n. 1, p. 154-164, 2024.
8. MEC. Computação: complemento à BNCC. Ministério da Educação, 2022.
9. MEC. Censo escolar 2023. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2023.
10. PEÑAFIEL, M. G.; VÁSQUEZ-PEÑAFIEL, M.-S.; PEÑAFIEL, D. A. V. The role of artificial intelligence tools in knowledge generation: implications for education. In: Proceedings of the 2024 16th International Conference on Education Technology and Computers (ICETC '24). New York: ACM, 2025.
11. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação 2025–2035. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.
12. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação 2025–2035: Resumo Executivo. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.



**SIMONE ANDRÉ DA COSTA CAVALHEIRO** é Professora Associada de Computação na Universidade Federal de Pelotas (UFPel), com mestrado (2001) e doutorado (2010) em Ciência da Computação pela UFRGS. Sua pesquisa concentra-se em Educação em Computação, Pensamento Computacional e Métodos Formais, com ênfase em propostas metodológicas e recursos para o ensino de Computação na Educação Básica e na formação de professores



**AMAURY ANTÔNIO DE CASTRO JUNIOR** é Professor Associado da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, com mestrado em Ciência da Computação pela UFMS (2003) e doutorado pela USP (2009). Sua pesquisa tem se focado em temas relacionados com a Educação em Computação, Robótica Educacional, Computação na Educação Básica, Projeto de Linguagens de Programação e desenvolvimento de materiais didáticos e pedagógicos para o ensino de computação.



ARTIGO

# HABILIDADES E COMPETÊNCIAS META-COMPUTACIONAIS: TRANSMUTANDO A FORMAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

POR

Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro  
[claudiam@nce.ufrj.br](mailto:claudiam@nce.ufrj.br) e [leila@inf.ufrgs.br](mailto:leila@inf.ufrgs.br)

**N**o Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação, promovido pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), foram identificados cinco grandes eixos prioritários, ou desafios, relacionados à Educação em Computação. Os resultados das discussões foram consolidados em duas publicações complementares. A primeira reúne os resumos executivos [1] de cada eixo identificado como prioritário; a segunda, lançada no livro Grandes Desafios da Educação em Computação durante o CSBC 2025 [2], aprofunda conceitualmente cada tema e delineia caminhos para a pesquisa, a prática docente e a formulação de políticas públicas. Este artigo resume o

desafio sobre Habilidades e Competências na Aprendizagem de Computação, descrito no Capítulo 4 do livro [2], e discute o papel das habilidades meta-computacionais na formação do profissional da Computação. Este grande desafio é:

***“Promover o efetivo desenvolvimento de competências e habilidades em Computação adequadas a cada profissional, tanto da Computação quanto de outras áreas, de forma relevante para a sociedade, integrando diferentes aspectos, tais como humanos, técnicos, econômicos, éticos, ambientais, sociais, culturais e emocionais.”***

A questão essencial é que o conjunto de habilidades necessárias tanto para profissionais da Computação quanto para quem apenas usa Computação no seu cotidiano mudou radicalmente na última década, mas a formação continua seguindo currículos e regulamentações que estão defasados. Os currículos de cursos são extremamente rígidos, não acompanhando as mudanças tecnológicas. Há um foco excessivo nas técnicas em detrimento de uma formação mais holística que envolva também os aspectos sociais e éticos da Computação. Esta lacuna decorre parcialmente da falta de preparo do corpo docente.

### **Tendências para o Futuro.**

A Inteligência Artificial (IA), em especial a IA generativa, está causando um grande impacto na sociedade, que tende a se acentuar ainda mais nos próximos anos. Muitas tarefas técnicas que exigem algum grau cognitivo, como atividades de codificação, serão automatizadas em grande escala. Isso poderá causar altas taxas de desemprego de profissionais que não conseguirem se adequar a novas atividades, bem como evasão de cursos que não modificarem a formação de um perfil somente tecnicista para uma formação mais ampla que inclua também formação sólida em habilidades de construção de soluções de problemas complexos, análise crítica, ética, impactos sociais, ambientais, humanos de tecnologias digitais.

### **Ações e políticas recomendados.**

A superação dos desafios identificados na formação superior em Computação

exige ações estruturadas que articulem políticas públicas, financiamento, pesquisa aplicada e inovação educacional. Essas ações devem estar ancoradas em uma visão sistêmica e transversal da Computação, reconhecendo sua centralidade no mundo contemporâneo e seu potencial formativo amplo. Ações sugeridas envolvem a revisão de currículos de cursos de Computação, criação de políticas de estímulo à diversidade, fomento a projetos e à pesquisa em ensino de Computação, criação de programas de estímulo à capacitação docente contínua, regulamentação do uso da inteligência artificial na educação e o fomento a ações de popularização da Computação na sociedade.

Restructurar a formação superior em Computação significa, portanto, abandonar a velha lógica que separa competências “técnica” e “humana” porque ela reflete uma visão cartesiana que artificialmente separa o mundo material do mundo social. Em vez disso, é preciso pensar os currículos a partir de uma compreensão integrada, que reconheça como elementos técnicos e sociais estão entrelaçados, moldando juntos os ecossistemas computacionais. Isso exige uma revisão constante, não só para atualizar conteúdos, mas para transformar a maneira como entendemos a própria natureza da área da Computação.

### **Habilidades Meta-computacionais.**

Neste contexto, um aspecto emergente, que perpassa não somente o desafio das habilidades da Computação na

educação superior, mas todos os outros desafios identificados no evento Grandes Desafios da Educação em Computação é **o papel das habilidades e competências meta-computacionais [3, 4, 5] em um cenário profundamente transformado pela Inteligência Artificial (IA).**

As habilidades e competências meta-computacionais correspondem a um conjunto de capacidades cognitivas e socioemocionais que permitem aos indivíduos compreender, monitorar e aprimorar seus próprios processos de pensamento e aprendizagem em interação com tecnologias digitais, em especial sistemas baseados em Inteligência Artificial. Nesse contexto, a IA não atua como substituta do conhecimento humano, mas como um elemento que reconfigura a forma como aprendemos e aplicamos a Computação, ampliando a necessidade de desenvolver competências que vão além do domínio técnico tradicional.

Diferentemente das habilidades estreitamente técnicas, as competências meta-computacionais têm origem na metacognição e se estendem para dimensões mais amplas do raciocínio e da convivência humana. Mas essas habilidades, para serem plenamente desenvolvidas, exigem também competências técnicas, ou seja, elas estão em um patamar mais elevado. Entre elas, destacam-se:

- **Metacognição:** capacidade de refletir sobre o próprio processo de aprendizagem, identificar estratégias mais eficazes e ajustá-las ao construir sistemas computacionais e interagir com ferramentas

de IA. Desenvolver essa habilidade exige a compreensão dos limites da Computação, que explicam o que é ou não possível automatizar, estabelecendo as diferenças entre o Homem e a Máquina.

- **Pensamento crítico e questionador:** habilidade de interpretar as respostas de sistemas inteligentes sem passividade, avaliando consistência, limitações, possíveis vieses e adequação ao contexto. Desenvolver essa habilidade exige a compreensão das diferenças entre raciocínio dedutivo e indutivo, bem como domínio amplo de várias habilidades da Computação, pois para realizar uma análise crítica é necessário compreender como os resultados foram gerados.
- **Inteligência emocional e social:** competências relacionadas à comunicação, colaboração e tomada de decisão em ambientes onde humanos e agentes artificiais coexistem.
- **Criatividade e inovação:** disposição para imaginar usos alternativos das tecnologias e propor soluções originais, ultrapassando aquilo que os modelos generativos são capazes de produzir. Desenvolver essa habilidade exige extremo domínio técnico. Por exemplo, um pintor só consegue ser um gênio criativo se conhece os diferentes tipos de tintas, telas, pincéis, e domina as técnicas. Construir soluções computacionais criativas para problemas

complexos envolve domínio de várias áreas da Computação.

- **Adaptabilidade e proatividade:** postura ativa diante das transformações tecnológicas, buscando atualização contínua em um contexto no qual flexibilidade e prontidão para aprender tornam-se essenciais. A adaptabilidade necessita de uma formação sólida nos fundamentos da Computação, pois as tecnologias digitais são extremamente efêmeras. Somente quem comprehende os fundamentos de cada área consegue se adaptar a novas tecnologias.

Essas competências emergem como elementos fundamentais para a formação em Computação (e em outras áreas do conhecimento, pois a Computação faz parte do cotidiano de todos) nos próximos anos, especialmente porque moldam a forma como estudantes e profissionais interagem com tecnologias digitais cada

vez mais presentes nos processos de criação, análise e tomada de decisão. Contudo, desenvolver essas competências não é um processo isolado, exige domínio de competências técnicas da Computação.

Essas iniciativas apontam para uma mudança na dinâmica de ensino e aprendizagem: o estudante passa a ter papel mais ativo na construção do conhecimento, dominando fundamentos da Computação e explorando a IA como recurso de apoio e reflexão, enquanto o professor assume funções ampliadas de curadoria, orientação e design de experiências educacionais. Em conjunto, esses movimentos sugerem uma formação mais integrada, na qual competências técnicas e meta-computacionais se articulam para preparar futuros profissionais capazes de atuar de maneira crítica e criativa em um ecossistema permeado pela Inteligência Artificial.

---

## Referências

1. Educação em Computação 2025-2035 - Resumo Executivo. Coordenação: Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.
2. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação 2025-2035. Organizadores: Claudia Lage Rebello da Motta, Flávia Maria Santoro, Leila Ribeiro, Rodrigo Duran, Sean Wolfgang Matsui Siqueira, Simone André da Costa Cavalheiro, Taciana Pontual Falcão. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.
3. Kovanović, V., et al. (2021). Teaching and learning with AI: Future skills for an AI-driven world. *British Journal of Educational Technology*.
4. Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
5. Wing, J. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35



**CLAUDIA L R MOTTA** é pesquisadora do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais e atua no Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foi Diretora de Educação da Sociedade Brasileira de Computação (2023-2025), quando organizou o I Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação. Graduada em Informática pelo Instituto de Matemática da UFRJ (1984), com Mestrado em Inteligência Artificial (1989) e Doutorado em Engenharia de Software (1999), ambos pela COPPE/SISTEMAS da UFRJ. Tem participação expressiva em atividades de educação e divulgação científica, com destaque para projetos de pesquisa, publicações e ações de extensão. É líder do Laboratório de Pesquisa em Tecnologias Educacionais e Sociais da UFRJ (SocialEduLab), vice-líder do Grupo de Pesquisas Ábaco da Universidade de Brasília e cofundadora do SuPyGirls, projeto voltado ao empoderamento feminino por meio das tecnologias, chancelado pela SBC. Suas principais áreas de pesquisa são Informática, Educação e Sociedade, Sistemas Colaborativos e Sistemas Complexos Adaptativos.



**LEILA RIBEIRO** é Professora Titular do Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Sua formação é na área de Computação: possui graduação e mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutorado na Universidade Técnica de Berlim (1996). Recebeu em 1999 o Prêmio Santista na área de Informática (categoria Juventude). É a representante brasileira no IFIP Technical Committee 1 (Foundations of Computer Science) e Diretora de Ensino de Computação na Educação Básica da SBC, coordenando e apoiando as ações da SBC para a inclusão de Computação na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e na Educação Básica, como a criação do PROFCOMP (Mestrado Profissional em Ensino de Computação), do CQ-EB (Curso de Qualidade em Computação na Educação Básica) e do SBC-EB (Simpósio Brasileiro de Computação na Educação Básica). Suas principais áreas de pesquisa são o Ensino de Computação e os Fundamentos da Computação.

# ACREDITAR NA COMPUTAÇÃO *é construir o futuro junto à SBC.*



**ASSOCIE SUA INSTITUIÇÃO À SBC  
E FAÇA PARTE DA COMUNIDADE QUE  
TRANSFORMA A COMPUTAÇÃO NO BRASIL.**

Ser um Associado Institucional é:

- Contribuir ativamente para o avanço científico e tecnológico do país;
- Ampliar a visibilidade institucional em um ecossistema qualificado;
- Fortalecer conexões com a Comunidade acadêmica e profissional;
- Apoiar iniciativas que promovem educação, inovação e inclusão.

**Conheça nossos Associados Institucionais!**  
[www.sbc.org.br/associados-institucionais](http://www.sbc.org.br/associados-institucionais)





ARTIGO

# O DESAFIO DA INCLUSÃO, DIVERSIDADE, EQUIDADE E ACESSIBILIDADE NA COMPUTAÇÃO

POR

*José Palazzo Moreira de Oliveira  
[palazzo@inf.ufrgs.br](mailto:palazzo@inf.ufrgs.br)*

## Uma Agenda Estruturante e o Papel da Sociedade Brasileira de Computação

A agenda contemporânea da Educação em Computação no Brasil encontra-se no centro de um processo de transformação profunda, marcado pela crescente consciência de que os sistemas sociotécnicos hoje projetados moldam, condicionam e, em grande medida, determinam as oportunidades de participação cidadã em uma sociedade digitalizada. Nesse cenário, os princípios de Inclusão, Di-

versidade, Equidade e Acessibilidade (IDEA) assumem um papel estruturante. Longe de constituírem um mero adendo humanístico aos currículos centrados em competências técnicas, esses princípios representam uma exigência ética, epistemológica e prática, vinculada diretamente ao futuro da computação como disciplina formativa e como área estratégica para o desenvolvimento nacional.

A presença de legislações federais e de normativas específicas que buscam garantir direitos de acessibilidade, combater a discriminação e promover

a equidade já é significativa. Contudo, tais parâmetros legais não têm sido suficientes para assegurar que esses valores se expressem de modo concreto na formação inicial e continuada dos profissionais da área. Ao longo da última década, observa-se no Brasil um conjunto de iniciativas que revelam um movimento ascendente de problematização e institucionalização dessas questões no âmbito da Educação em Computação. Destacam-se, nesse processo, a formação do Grupo de Trabalho IDEA no âmbito da Comissão Especial de Educação em Computação (CEduComp), a atuação da Comissão para Inclusão, Diversidade e Equidade (CIDE) da SBC, o impacto social do Programa Meninas Digitais, e a incorporação sistemática da temática IDEA nos Grandes Desafios da Pesquisa em Computação e nos Grandes Desafios da Interação Humano-Computador.

Essas iniciativas não surgem isoladamente; elas configuram um movimento contínuo de engajamento da Sociedade Brasileira de Computação que, desde seus primeiros documentos estratégicos, tem enfatizado a importância da inserção social da computação, da democratização do acesso ao conhecimento e da construção de ambientes educacionais mais acolhedores e plurais. Contudo, apesar desse protagonismo institucional, persiste uma distância significativa entre as diretrizes produzidas pela comunidade científica e sua efetiva tradução em práticas curriculares, sobretudo na Educação Formal.

## A Lacuna entre Normas, Intenções e Curículos

Os referenciais de formação publicados pela SBC em 2017 constituem um marco importante para o alinhamento dos cursos de Computação no país, mas revelam, em sua forma final, uma priorização dominante da formação técnico-científica enquanto a formação humanística aparece de maneira secundária. Ética, responsabilidade social, pluralidade ou equidade são mencionadas, mas não se convertem em eixos estruturais da formação. Essa assimetria curricular contrasta com as orientações internacionais mais recentes. As diretrizes curriculares da Association for Computing Machinery (ACM), atualizadas em 2023, enfatizam que a reflexão sobre diversidade, acessibilidade e impactos sociotécnicos deve ser intrínseca ao currículo, não apenas como disciplina complementar, mas como elemento transversal e indispensável à formação profissional.

Essa discrepância aponta para um desafio essencial: a dificuldade de incorporar IDEA como dimensão epistemológica da computação. Apesar disso, IDEA não pode se limitar a uma agenda ética periférica. Trata-se de reconhecer que algoritmos, sistemas de decisão automatizada, interfaces, plataformas digitais e infraestruturas computacionais são produtos carregados de valores e, portanto, as escolhas de projeto, modelagem, dados e interação podem ampliar desigualdades ou mitigá-las.

Nesse sentido, a SBC desempenha um papel decisivo como articuladora de um debate nacional que ultrapassa as fronteiras das instituições de ensino, alcançando governos, centros de pesquisa, escolas, empresas de tecnologia e organizações da sociedade civil. A maturação desse debate tem exigido a construção de espaços de diálogo e a formulação de diretrizes que orientem a transição de um modelo centrado exclusivamente na competência técnica para um modelo de formação integral dos futuros profissionais da computação.

### **Diagnóstico do Cenário Atual: Potencialidades e Limitações**

Apesar da existência de ações isoladas, muitas delas vinculadas ao suporte institucional da SBC, o panorama nacional ainda é marcado por forte heterogeneidade. A maior parte dos cursos de Computação mantém seus currículos estruturados predominantemente em torno dos eixos teóricos e práticos clássicos. Projetos inovadores em diversidade, acessibilidade e equidade ainda dependem do voluntarismo de docentes ou de grupos de pesquisa específicos. A literatura e os relatos institucionais mostram que:

- A formação docente, especialmente na pós-graduação, raramente aborda IDEA de maneira sistemática;
- A concepção, implementação e avaliação dos Projetos Pedagógicos de Curso (PPC) pouco dialogam com

debates contemporâneos sobre ética algorítmica, vieses sociotécnicos, acessibilidade digital ou literacia em dados;

- Iniciativas bem-sucedidas, como o Programa Meninas Digitais, tendem a se manter como ações paralelas, quando deveriam ser integradas como pilares curriculares;
- A falta de alinhamento entre currículos formais e currículos praticados impacta a formação cidadã, reduz a sensibilidade social dos estudantes e reproduz uma visão limitada da computação como atividade meramente técnica.

Dessa forma, o diagnóstico revela não uma ausência de iniciativas, mas a falta de integração orgânica entre ações institucionais, formação docente, políticas públicas e cultura curricular.

### **A Emergência da Computação Plural como Horizonte Civilizatório**

A discussão estruturada em torno de IDEA aponta para a necessidade de uma Computação Plural, capaz de conceber e produzir tecnologias por e para todas as pessoas. Esse horizonte é mais do que uma aspiração: constitui uma resposta aos riscos concretos que emergem quando sistemas algorítmicos reproduzem discursos discriminatórios, reforçam segregações sociais ou excluem grupos inteiros de oportunidades educacionais e profissionais.

A SBC tem atuado de modo decisivo na formação desse horizonte. Seus documentos estratégicos, comissões, programas de extensão e grandes desafios vêm consolidando uma visão segundo a qual a computação não pode se furtar à reflexão crítica sobre seus impactos sociotécnicos. Em sua atuação pública, a SBC tem reiterado que a democratização do acesso ao conhecimento e a construção de ambientes educacionais acolhedores constituem elementos centrais da própria missão institucional.

Essa visão é reforçada pela compreensão de que a literacia digital e a literacia em dados são novos pilares da cidadania. A Educação em Computação deve capacitar indivíduos a interpretar informações, compreender algoritmos que organizam a vida social e distinguir práticas tecnológicas éticas de práticas discriminatórias ou opacas. IDEA, nesse contexto, deixa de ser mera pauta adicional e passa a integrar o núcleo da formação de cidadãos e profissionais capazes de dialogar criticamente com a sociedade digital.

### **Tendências, Riscos e Impactos para a Década de 2025–2035**

A próxima década representa um momento determinante para consolidar a computação como área acadêmica comprometida com a justiça social. As tendências mapeadas pelos grupos de trabalho da SBC indicam que:

- Ignorar IDEA implica riscos profun-

dos, incluindo reprodução de vieses algorítmicos, ambiente profissional tóxico, evasão de grupos sub-representados e distanciamento entre currículos e demandas sociais;

- Implementar IDEA com formação docente insuficiente gera tensões, podendo alimentar resistência institucional ou superficialidade na adoção de políticas afirmativas;
- Promover IDEA de forma integrada pode gerar benefícios estruturais, como maior acesso ao ensino superior, maior diversidade no ecossistema de TI, aumento da literacia digital e fortalecimento de políticas públicas orientadas por evidências.

A consolidação de uma Computação Plural depende, portanto, de uma articulação contínua entre pesquisa, políticas públicas, formação docente e engajamento institucional – articulação na qual a SBC tem exercido liderança incontornável.

### **Agenda de Ações para Pesquisa e Políticas Públicas**

Para enfrentar esse desafio estruturante, um conjunto de ações de médio e longo prazo se mostra indispensável:

- Elaboração de disciplinas de curta duração que introduzam os fundamentos de IDEA, com ementas e atividades alinhadas às melhores práticas nacionais e internacionais;
- Criação de um repositório nacional de práticas pedagógicas, coordene-

nado pela SBC, orientado à diversidade regional e às distintas etapas de formação;

- Atualização dos PPCs para incluir ações curriculares e extracurriculares relacionadas a IDEA como componentes obrigatórios;
- Formação continuada de equipes pedagógicas e administrativas, permitindo que IDEA se torne um valor institucional e não apenas docente;
- Promoção de ambientes educacionais acolhedores, com políticas explícitas de combate à discriminação e estímulo à permanência estudantil;
- Estabelecimento de redes de colaboração entre universidades, escolas, empresas e órgãos públicos para ampliar o alcance de iniciativas IDEA.

A SBC, com sua trajetória de liderança, reúne as condições institucionais e acadêmicas para coordenar e fomentar essas ações, ampliando sua vocação histórica de impulsionar transfor-

mações na Educação em Computação.

## **Considerações**

O desafio IDEA não nasce fora da comunidade acadêmica: ele é produzido e reconhecido por seus próprios membros, que compreendem a necessidade de reorientar a Educação em Computação em direção a uma formação humana, crítica e inclusiva. A SBC tem sido protagonista nesse processo, estimulando debates, estruturando comissões e promovendo espaços de reflexão nos quais IDEA se consolida como eixo estratégico para os próximos dez anos.

Promover uma educação formal em computação consciente de IDEA não é apenas uma aspiração normativa; é um imperativo acadêmico, social e civilizatório. Ao assumir plenamente essa agenda, a comunidade brasileira de computação contribui para a construção de uma sociedade mais justa, plural e acessível, reafirmando o papel da SBC como instituição comprometida com o avanço ético e científico da área.

## **Referências**

1. BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, 1996.
2. Claudia Pereira, Juliana dos Santos, Esdras Bispo Jr. e Mirella Moro. IDEA na EduComp: Um Manifesto em favor da Inclusão, Diversidade, Equidade e Acessibilidade. Anais Estendidos do Simpósio Brasileiro de Educação em Computação - Educomp, 2024.
3. Kumar, A. N., Raj, R. K., Aly, S. G., Anderson, M. D., Becker, B. A., Blumenthal, R. L., ... & Xiang, Q. (2024). Computer science curricula 2023.
4. Maria Cecília C. Baranauskas, Clarisse S. de Souza, Roberto Pereira. I GranDIHCBR – Grandes Desafios de Pesquisa em Interação Humano-Computador no Brasil, SBC, 2012.



**JOSÉ PALAZZO MOREIRA DE OLIVEIRA** é Professor Titular do Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – com mestrado em Ciência da Computação pela UFRGS (1976) e doutorado pelo Instituto Nacional Politécnico de Grenoble – INPG (1984). Atua em Ciência da Computação, com ênfase em Sistemas de Informação, principalmente nos seguintes temas: Sistemas de Informação, Modelagem Conceitual, Ontologia, Filosofia da Ciência e Ensino de Computação.



# ONDE A PRODUÇÃO CIENTÍFICA EM COMPUTAÇÃO TEM ACESSO ABERTO!

**Na SOL, a Biblioteca Digital  
da SBC, você encontra:**

- Anais de eventos científicos de relevância acadêmica
- Periódicos indexados em bases internacionais
- Livros e relatórios que promovem o avanço da ciência e da pesquisa

**A SOL é um espaço de disseminação do conhecimento,  
preservação da memória científica e fortalecimento da  
pesquisa em Computação no Brasil.**

**Acesse, explore e compartilhe  
conhecimento: <https://sol.sbc.org.br>**





ARTIGO

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AGÊNCIA NA EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

POR

*Sean Wolfgang Matsui Siqueira*  
[sean@uniriotec.br](mailto:sean@uniriotec.br)

**I**nteligência Artificial (IA) e Educação foi o tema de um dos grupos de trabalho no I Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação 2025-2035. Considerando a agitação causada pela IA generativa em todos os setores da sociedade, seria esperado que este tema também despertasse discussões na Educação e fosse o foco de um grupo de trabalho nos Grandes Desafios da Educação em Computação 2025-2035. No seminário, foram discutidos diversos desafios nesta temática, que agrupamos em quatro grupos:

1. **IA no Ensino-Aprendizagem e questões educacionais:** os desafios deste grupo abordam como a IA pode transformar os métodos de ensino e aprendizagem na área da Computação, incluindo escalabilidade, personalização e inovação no currículo e nas abordagens pedagógicas;
2. **Uso de dados, explicabilidade e recomendação inteligente:** os desafios aqui discutidos focam em trabalhar com dados e prover algo-

ritmos explicáveis para melhorar o ensino e a aprendizagem, personalizar recomendações e fortalecer a confiança na tecnologia;

3. **Aspectos éticos-sociais-culturais e literacia em IA:** neste grupo estão os impactos éticos, sociais e culturais do uso da IA na Educação, também promovendo a literacia em IA para capacitar cidadãos e reduzir desigualdades;
4. **A IA como agente transformador e motivador:** este grupo investiga como a IA pode servir como catalisador para a motivação e inovação, promovendo novas formas de interação humano-máquina (ou humano-IA) e cocriando conhecimento e cultura.

Os desafios levantados não visavam formar uma lista exaustiva, mas serviu de *brainstorming* e *brainwriting* para se chegar ao que o grupo de trabalho definiria como um grande desafio da Educação em Computação para 2025-2035: “**Inteligência Artificial como agente na Educação em Computação**”.

Neste artigo, o autor traz um resumo da colaboração dos autores que participaram do grupo de trabalho IA e Educação no I Seminário dos Grandes Desafios de Educação em Computação 2025-2035. A ideia não é reproduzir o material já divulgado (resumo executivo [4], principais desafios e oportunidades [5] e trabalhos apresentados [3]), mas descrever o racional e destacar alguns aspectos. As discussões, listas de desafios, análise de cená-

rio, tendências e impactos, bem como as ações sugeridas, não tiveram o objetivo de serem exaustivas, mas sim destacar alguns elementos observados pelo grupo no contexto do seminário.

## **A Agência na Educação em Computação**

A escolha do termo “agência” (ou no caso “agente”), no enunciado do grande desafio, foi para reforçar que a IA atua como um agente sociotécnico nos processos educacionais, configurando mediações que afetam diretamente o ensino e a aprendizagem, e por consequência todos os envolvidos nessa interação. Assim, além da agência direta do professor e dos alunos, buscamos chamar a atenção para outras agências na Educação em Computação, incluindo a agência das tecnologias, no caso a Inteligência Artificial. Vale destacar que outros humanos e não humanos também podem afetar a Educação em Computação, por exemplo, instituições de ensino, políticas públicas, leis, o desenvolvimento tecnológico, como as empresas contratam seus funcionários, as áreas priorizadas pelo mercado de trabalho e assim por diante.

O destaque para a IA como agente na Educação em Computação teve como intuito chamar a atenção para reflexões e ações de como artefatos tecnológicos participam da constituição de ações humanas, configurando possibilidades, restringindo alternativas e influenciando decisões, seguindo a noção de agência de não humanos de Latour [1] e as participações sugeridas por Orlikowski [2]. Destacamos também a mediação da IA no

acesso ao conhecimento, na orientação de percursos de aprendizagem e desenvolvimento de competências e na avaliação de desempenho dos alunos, coconstituindo uma rede com humanos, normas, dados, interfaces, instituições e outras tecnologias nas experiências educacionais, formas de conhecimento e relações de poder, por exemplo.

Assim, reforçamos a necessidade de políticas educacionais sensíveis às assimetrias sociotécnicas que atravessam a presença da IA nos ambientes educacionais, e que sejam integradas nos seus diversos níveis de ensino, de governo e em todo o ecossistema educacional. Destacamos que mais do que incorporar a IA nos currículos ou preparar estudantes para usá-la com eficácia e eficiência, o desafio implica em formar sujeitos capazes de agir com, contra e apesar da IA, reconhecendo que ela molda práticas, subjetividades e futuros. E, embora, o foco esteja na agência da IA, a proposta é promover o repensar de todas as agências nesse processo.

Com este desafio, propomos que a IA (e outras tecnologias ou agentes) seja compreendida como força sociotécnica e epistemológica constitutiva dos modos de ensinar, aprender e pesquisar, e que a Educação em Computação seja, cada vez mais, um espaço de conscientização, ação situada e participação ativa nos processos que moldam o design, a inovação, o uso e a regulação das tecnologias digitais. Cabe à comunidade da Educação em Computação assumir um papel protagonista na construção de práticas, pesquisas e políticas que enfrentam critica-

mente os efeitos e as promessas da IA na formação de sujeitos e na mediação do conhecimento.

## **Agentes de IA e IA agêntica**

Do ponto de vista mais computacional, podemos contemplar este desafio no contexto da transição de agentes de IA para a IA agêntica. Por um lado, agentes de IA são entidades ou sistemas de software focados em tarefas específicas e rotineiras, operando em parâmetros predefinidos e seguindo regras estabelecidas. Por outro lado, sistemas de IA agêntica são autônomos, capazes de perceber o ambiente, raciocinar, tomar decisões e iniciar ações em tempo real para alcançar objetivos complexos de longo prazo. Isto implica na transição de chatbots tradicionais que respondem a perguntas frequentes ou sistemas que dão feedback gramatical (agentes de IA) para tutores inteligentes que adaptam o currículo e o tom com base no progresso e motivação do aluno (IA agêntica). Neste sentido, podemos observar as tendências tecnológicas e seus desdobramentos na Educação e na Educação em Computação.

## **Tendências**

A IA vem provocando abordagens experimentais de testes de modelos híbridos que combinam a atuação dela com a do professor em diversas etapas do ensino, como a revisão de currículos, o planejamento de aulas, a criação de materiais didáticos, listas de exercícios e provas, e a correção destas. Por outro lado, a interação aluno-IA tem se con-

solidado em práticas de delegar à IA as atividades educacionais, mas também de coconstrução do conhecimento, curadoria de conteúdos e coautoria. Um exemplo no contexto de Educação em Computação seria a programação assistida. Assim, as interações com a IA possibilitam novas dinâmicas de aprendizado colaborativo e ampliam o alcance da personalização no ensino. A IA vem trazendo um repensar contínuo dos currículos, métodos pedagógicos e abordagens avaliativas.

Como tendências tecnológicas, observam-se sensores cada vez mais sofisticados e a IA afetiva na construção de vínculos pedagógicos, subjetividades e engajamentos. Os dados utilizados para a gestão da aprendizagem tendem a aumentar, propiciando feedback personalizado e insights para aprimorar as práticas de professores e alunos, além de permitir acompanhar nuances de como cada pessoa aprende. Por outro lado, as questões de privacidade, gestão de dados e implementação ética serão cada vez mais necessárias. A ética por design e a ética voluntária aparecem como potenciais direcionadores de uma perspectiva sustentável, sob a visão de uma IA para o planeta.

## Impactos

Foram discutidos impactos de curto e longo prazo, considerando-se diferentes dimensões desde a didático-pedagógica, infraestrutura, política, até as socioeconômica e ontológica. Dentre os impactos levantados estão: o uso intensivo de IA generativa; currículos influenciados por sistemas de recomendação e priorização

algorítmica; o desenvolvimento e experimentação de novas abordagens didáticas com suporte da IA; a ampliação de ecossistemas híbridos de ensino-aprendizagem; engajamento mediado por IA e risco de alienação epistêmica; novas formas de cognição orientadas por mediações algorítmicas; desafios na avaliação e na autoria; necessidade de formação docente crítica; transformações profundas nos papéis de professores e aprendizes; dependência de plataformas comerciais e pouco transparentes; disputa por soberania e infraestrutura digital autônomas; dilemas regulatórios emergentes; disputa por modelos de governança de IA na Educação; ampliação de desigualdades tecnológicas; potencial aprofundamento da exclusão educacional algorítmica; reconfiguração da experiência de aprender com IA; e redefinição das noções de inteligência, agência e sujeito educacional.

Entendemos os impactos como resultados das interações e mediações entre os atores humanos e não humanos nesse ecossistema educacional. Deste modo, foi mais um trabalho de especulação de possibilidades para se pensar em possíveis impactos e ações que pudesse ser relevantes no contexto do grande desafio. Os desafios, tendências e impactos são apresentados em mais detalhes no livro [5].

## Recomendações de Ações e Políticas

Durante o seminário, foram levantadas diversas ações relacionadas ao grande desafio da IA como agente na Educação em Computação. Essas ações foram agrupadas em ações (i) formativas e educacionais, (ii) científicas e tecno-

lógicas, e (iii) políticas. Uma análise das ações levantadas permite perceber que algumas delas extrapolam o contexto de Educação em Computação, permeando a Informática na Educação ou a Educação de forma mais ampla. Isso também reflete a complexidade do tema e o entrelaçamento das áreas, sujeitos, objetos e objetivos. Certamente outras ações podem ser levantadas e eventualmente se mostrarem mais estratégicas ou relevantes, mas entendemos que as ações que emergiram das discussões podem trazer sua contribuição para esse emaranhado.

Observa-se a importância de repensar os materiais didáticos para que sejam mais adequados a este novo cenário digital e possam servir de base para o treinamento dos agentes de IA (ou a IA agêntica). Neste sentido, aparecem as discussões sobre autoria e direitos autorais, bem como as personalizações dos conteúdos conforme as particularidades dos alunos. Outra ação relacionada é a organização de repositórios abertos de materiais educacionais, onde entram também as discussões sobre armazenamento, distribuição, acesso e soberania de dados.

Como os conteúdos educacionais têm forte relação com as práticas educacionais, algumas ações estão relacionadas a como entender, remodelar, planejar, desenvolver, aplicar, avaliar, compartilhar e reutilizar práticas educacionais, incluindo as avaliativas. Discutimos os laboratórios pedagógicos para experimentação crítica com IA na Educação em Computação. Neste sentido, destacam-se as práticas que promovam o protagonismo do estudante, com o

desenvolvimento do pensamento crítico, reflexivo, criativo, sistêmico e humano na relação com a IA, bem como a corregulação da aprendizagem (aluno + máquina + docente) em um contexto sociocultural.

Desta forma, observa-se a importância de revisar currículos de cursos de formação em Computação, bem como promover a literacia no uso crítico e responsável de IA.

As ações formativas e educacionais devem ser sustentadas por ações científicas e tecnológicas. Discutimos a importância de adaptar, desenvolver e avaliar as ferramentas de IA na Educação em Computação de forma criteriosa, considerando métodos de avaliação ou testes de integridade, confiabilidade e explicabilidade dessas ferramentas. Assim, devemos aprimorar ferramentas para o aumento da eficiência da preparação/formatação de conteúdo didático, considerando múltiplas trilhas de aprendizagem com níveis de profundidade distintos, com abordagens interativas e personalizadas. Neste sentido, também será necessário desenvolver novas formas de regulação da aprendizagem. Novos modelos para previsão de desengajamento, abandono e insucesso educacional devem ser criados, respeitando os princípios éticos da não discriminação e igualdade, integrando a pesquisa aplicada aos projetos pedagógicos com IA, promovendo avaliação crítica e inovação situada.

Como ações políticas necessárias para promover esse cenário, observa-se a importância de ampliar a discussão sobre o uso ético, técnico e pedagógico da IA,

estabelecendo diretrizes nacionais para a cocriação IA-humanos, fomentando a criação de uma infraestrutura nacional/regional para a IA e conjuntos de dados regionais, de forma a promover a sustentabilidade econômica, ambiental e social do uso da IA. Observamos também a importância de estimular a cooperação Sul-Sul no desenvolvimento e uso de tecnologias educacionais baseadas em IA.

---

#### Referências:

1. LATOUR, B. Reagregando o Social: Uma Introdução à Teoria do Ator-Rede. EDUFBA; EDUSC, Salvador; Bauru, 2012.
2. ORLIKOWSKI, W. J. Sociomaterial practices: Exploring technology at work. *Organization Studies*, v. 28, n. 9, p. 1435-1448, 2007.
3. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. I Seminário dos Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil: Trabalhos Apresentados. Organizadores: Leila Ribeiro e Rodrigo Duran. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2024.
4. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação 2025-2035 - Resumo Executivo. Coordenação Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.
5. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação 2025-2035. Organizadores: Claudia Lage Rebello da Motta, Flávia Maria Santoro, Leila Ribeiro, Rodrigo Duran, Sean Wolfgang Matsui Siqueira, Simone André da Costa Cavalheiro, Taciana Pontual Falcão. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2025.



**SEAN W. M. SIQUEIRA** é Professor Titular da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (CNPq). Atua nas áreas de Sistemas de Informação, Informática na Educação e Computação e Sociedade, com trajetória consolidada na articulação entre computação, educação e dimensões sociotécnicas. Participou ativamente da coordenação e das discussões que fundamentaram o grande desafio “Inteligência Artificial como agente na Educação em Computação”, tema central deste artigo



ARTIGO

# METODOLOGIAS ATIVAS E ECOSISTEMAS HÍBRIDOS DE APRENDIZAGEM PARA A EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

POR

Flavia Maria Santoro  
[flavia@inteli.edu.br](mailto:flavia@inteli.edu.br)

## A Complexidade Atual da Aprendizagem em Computação

O processo de ensino e aprendizagem de Computação enfrenta hoje um cenário caracterizado pela complexidade e pela mudança contínua. A aceleração tecnológica disputa espaço com a necessidade de formação crítica e ética, enquanto o mercado demanda profissionais capazes de trabalhar de forma colaborativa, criativa e interdisciplinar. A transformação acelerada dos ambientes digitais, impulsionada pelo avanço da Inteligência Artificial (AI) e pela ubiquidade da compu-

tação nas práticas sociais e profissionais, exige uma revisão profunda das abordagens pedagógicas aplicadas ao ensino da Computação no Brasil. Nesse contexto, a expansão massiva da IA generativa reconfigura o papel do professor e do estudante, questionando o próprio conceito de autoria intelectual, avaliação e produção de conhecimento. Do ponto de vista institucional, a adoção de modalidades híbridas provoca mudanças na estrutura das atividades acadêmicas, exigindo ambientes dinâmicos, interoperáveis e sustentados por estratégias de acompanhamento formativo baseadas em dados educacionais.

O capítulo “Métodos e Técnicas de Ensino/Aprendizagem” apresentado no livro Grandes Desafios da Educação em Computação 2025–2035 [5] destaca que a formação de profissionais da área demanda iniciativas estruturantes que rompam com modelos tradicionais de ensino pautados prioritariamente na transmissão expositiva de conteúdos, favorecendo contextos educativos centrados no estudante, integrados com desafios reais e orientados ao desenvolvimento de competências amplas que envolvam aspectos técnicos, éticos e socioemocionais.

### **Metodologias Ativas como Base Estruturante**

Os resultados apresentados no grupo de trabalho responsável por este capítulo indicam que metodologias ativas desempenham papel essencial no reposicionamento do estudante como agente de sua trajetória formativa. Abordagens como aprendizagem baseada em projetos (PBL) e problemas, sala de aula invertida (flipped classroom) e experiências integradoras com parceiros externos favorecem a interdisciplinaridade e fortalecem a aprendizagem situada, aproximando a formação acadêmica de contextos profissionais reais. Estudos recentes demonstram ganhos significativos de engajamento, autonomia e retenção quando essas metodologias são aplicadas consistentemente e acompanhadas de avaliação contínua [2][4].

Entre os pontos levantados, destacam-se:

- Uso intensivo de metodologias ativas (problem-based learning, project-based learning, challenge-based learning, sala de aula invertida, aprendizagem por pares);
- Ecossistemas híbridos e flexíveis, integrando ensino presencial, remoto, síncrono e assíncrono;
- Integração curricular de IA, tanto como objeto quanto como ferramenta de aprendizagem; avaliação formativa contínua, baseada em evidências e portfólios;
- Formação docente permanente, envolvendo competências pedagógicas e tecnológicas;
- Desenvolvimento e avaliação de soft skills, essenciais ao trabalho colaborativo.

Esses elementos convergem para a construção de modelos educacionais orientados a problemas reais, aprendizagem ativa e protagonismo estudantil.

### **A Aprendizagem Híbrida e os Ecossistemas Educacionais Conectados**

Ambientes híbridos de aprendizagem, apoiados por plataformas digitais e recursos educacionais abertos, contribuem para flexibilizar percursos formativos, promover personalização e ampliar oportunidades de trabalho colaborativo entre estudantes, docentes e instituições. Essa concepção rompe com fronteiras físicas e temporais e abre caminho para experiências acadêmicas conectadas a ecossistemas de inovação, laboratórios distri-

buídos e parcerias com o setor produtivo. Modelos avaliativos apoiados em evidências e portfólios substituem a lógica classificatória e valorizam resultados progressivos e reflexões críticas sobre a própria aprendizagem.

## O Papel do Docente e a Centralidade da Formação Continuada

O docente assume um papel expandido, atuando como mediador, designer instrucional e mentor. Essa mudança pressupõe políticas institucionais permanentes de formação pedagógica e tecnológica, incorporando competências que vão além do domínio técnico e consideram aspectos éticos, comunicacionais e socioemocionais envolvidos na prática educativa. Sem investimento robusto na formação docente, a adoção de metodologias inovadoras tende a se restringir a iniciativas isoladas e pouco sustentáveis [7].

## Exemplo da Aplicação de Metodologias Ativas

A experiência implementada no Instituto de Tecnologia e Liderança (Inteli), instituição brasileira de ensino superior baseada inteiramente em Project-Based Learning (PBL) e sala de aula invertida [8], constitui um caso ilustrativo da efetividade de metodologias ativas na formação contemporânea em Computação [9]. Nesse modelo, estudantes trabalham em equipes interdisciplinares para resolver problemas reais propostos por organizações do setor público e privado, integrando fundamentos de engenharia

de software, ciência de dados, matemática aplicada, UX e gestão de projetos. A aprendizagem ocorre de forma iterativa e prática, e os estudantes apresentam entregas quinzenais que são avaliadas com base em rubricas alinhadas a competências técnicas e socioemocionais.

Resultados empíricos obtidos nos ciclos acadêmicos observados entre 2022 e 2024 evidenciam que estudantes expostos ao modelo PBL apresentaram níveis superiores de engajamento e persistência, além de melhora significativa em habilidades colaborativas e de comunicação [1] [3]. Adicionalmente, taxas de retenção e satisfação acadêmica superaram a média nacional de cursos de Computação, que historicamente apresentam índices elevados de evasão. No âmbito técnico, protótipos desenvolvidos pelos estudantes foram posteriormente transformados em experimentações reais nas instituições parceiras, demonstrando capacidade efetiva de transferência de conhecimento para o mundo produtivo.

## Considerações Finais

A educação em Computação é estratégica para o desenvolvimento social e econômico do país. A revisão profunda das metodologias de ensino e aprendizagem representa um eixo de transformação indispensável. Metodologias ativas, aprendizagem híbrida e integração de IA e *soft skills* constituem caminhos promissores para formar cidadãos críticos, criativos e éticos, capazes de liderar processos inovadores e enfrentar desafios complexos.

Desta forma, no livreto executivo [6], foram propostas diretrizes estruturantes, resumidas a seguir. Para as Instituições de Ensino, recomenda-se a reformulação curricular orientada a competências tecnológicas, éticas e socioemocionais; o estabelecimento de um ambiente acadêmico articulado com ecossistemas de inovação: laboratórios abertos, projetos interdisciplinares, parcerias com indústria e governo; e políticas institucionais

de formação docente contínua e cultura docente-formador. Para as Políticas Públicas e SBC, sugere-se desde incentivos à inovação pedagógica e redes de colaboração; a criação de repositórios nacionais de materiais abertos e boas práticas; e o financiamento para projetos educacionais baseados em evidências empíricas. A implementação dessas diretrizes depende de ação coordenada entre academia, indústria, SBC e políticas públicas.

## Referências

1. BARROS, V. A. M., PAIVA, H. M., HAYASHI, V. T. Using PBL and Agile to Teach Artificial Intelligence to Undergraduate Computing Students, IEEE Access, vol. 11, pp. 77737-77749, 2023, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3298294.
2. BRAME, C. Active learning. Vanderbilt University Center for Teaching, 2016. Acesso em dezembro 2025. Disponível em <https://derekbruff.org/vanderbilt-cft-teaching-guides-archive/active-learning/>.
3. PAIVA, H. M., HAYASHI, V. T., ANASTASSIU M., GARCIA, M., SANTORO, F. M., Real-Life Project-Based Learning in Introductory Programming: a Game for Cancer Prevention, 2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), Auckland, New Zealand, 2023, pp. 1-6, DOI: 10.1109/TALE56641.2023.10398353.
4. PRINCE, M. J., FELDER, R., BRENT, R. Active Student Engagement in Online STEM Classes: Approaches and Recommendations. Advances in Engineering Education, v. 8, n. 4, 2020.
5. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação no Brasil 2025–2035. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC-GDEC), 2025. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbc.17542.1>
6. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Grandes Desafios da Educação em Computação 2025-2035 - Resumo Executivo. Coordenação Claudia Lage Rebello da Motta e Leila Ribeiro. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC-Livro), 2025.
7. STEVENS, T. M., DAY, I. N. Z., den BROK, P. J., PRINS, F. J., ASSEN, H. J. H. E., ter BEEK, M., ... VERMINT, J. D. Teacher professional learning and development in the context of educational innovations in higher education: A typology of practices. Higher Education Research & Development, 43(2), 437–454, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/07294360.2023.2246412>
8. VALENTE, J. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. Educar em Revista. 79-97, 2014. DOI: 10.1590/0104-4060.38645.
9. VALENTE, J. A., BITTENCOURT, I. I., SANTORO, F. M., GARCIA, M., ISOTANI, S., GARCIA, A., HABIMORAD, M. O Ensino Superior de Computação Baseado em Projetos: o Inteli no caminho da inovação. Revista Brasileira de Informática na Educação, [S. l.], v. 33, p. 605–642, 2025. DOI: 10.5753/rbie.2025.4320



**FLÁVIA MARIA SANTORO** é Diretora Acadêmica do Instituto de Tecnologia e Liderança (Inteli) e Professora na UERJ. Ela obteve seu DSc em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), assim como Bacharelado em Engenharia Eletrônica pela Escola Politécnica da UFRJ, e Pós-graduação em Filosofia Contemporânea pela Universidade Católica Pontifícia do Rio de Janeiro. Desde 2009, ela é Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Sua jornada acadêmica também inclui sabáticos na Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, França, no período 2004-2005, e na Universidade de Tecnologia de Queensland, Austrália, de 2012 a 2013. Sua pesquisa tem foco na área de Sistemas de Informação, principalmente em Gestão de Processos de Negócios, Processos intensivos em Conhecimento, Gestão do Conhecimento e Aprendizagem Baseada em Projetos. Além da experiência na academia, atuou como consultora em numerosos projetos relacionados a BPM e desenvolvimento de software para várias empresas.

# FAZER PARTE DA SBC É FAZER PARTE DA TRANSFORMAÇÃO DA COMPUTAÇÃO NO BRASIL.



**Uma sociedade construída diariamente por pessoas que acreditam na ciência, na educação, na inovação e no impacto social da Computação.**

Associar-se à SBC é fortalecer uma Comunidade que:

- Promove o desenvolvimento científico e tecnológico do país;
- Apoia o ensino e a formação de novas gerações;
- Incentiva a pesquisa, a inovação e a inclusão;
- Representa e dá voz à área da Computação no Brasil.

[www.sbc.org.br/associe-se/](http://www.sbc.org.br/associe-se/)

Fazer parte da SBC é pertencer, participar e contribuir ativamente para o crescimento da nossa área, em um movimento coletivo que conecta estudantes, docentes, pesquisadores e profissionais de todo o país.

**Associe-se.  
Renove.  
Fortaleça a  
Computação no  
Brasil com a SBC.**





**sbc.org.br**