

# Destaques da área de ensino em Tecnologias Quânticas

Bruno Simões Nagem<sup>1</sup> e Edison Puig Maldonado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Divisão de Engenharia Eletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica

As tecnologias da ciência da informação quântica (QIST) vêm ganhando relevância estratégica em setores tais como comunicações e computação. Países investem significativamente em formação na área de engenharia quântica e em infraestrutura educacional relacionada ao avanço das QIST. Este trabalho apresenta nossa pesquisa nessa área e algumas iniciativas nacionais e internacionais. Considerando a demanda por profissionais com competências práticas multidisciplinares, destacamos alguns exemplos de programas, cursos e certificados, além de ferramentas educacionais. Nossa visão é a de que são necessárias medidas institucionais para ampliar o ensino em QIST, a formação de engenheiros especializados, e preparar o Brasil para essa transformação.

## I. INTRODUÇÃO

Tecnologias da informação quântica, QIST (*Quantum Information Science Technologies*) apresentam potencial disruptivo nas áreas de sensoriamento, segurança da comunicação e em computação. No Brasil, QIST começa a ser demandada em diversos contextos, tanto civis como militares [1].

Diversos países tem investido fortemente em QIST: há por exemplo uma ampla rede de comunicação protegida por criptografia quântica já em operação na China, incluindo alcance global com o uso de satélites, como mostra a Figura 1 [2]. Por se tratar de tecnologias duais, países e federações impõem restrições à exportação desses sistemas [3].

Estes fatos apontam para a importância da formação de engenheiros nesta área no Brasil [4]. Modelos para estes novos cursos já podem ser encontrados em instituições internacionais. Nosso grupo de pesquisa realiza um trabalho que visa discutir estes e outros aspectos para a criação destes programas no Brasil, assim como de ferramentas educacionais específicas, criando um “Diretório de Iniciativas Educacionais em QIST” para fornecer referência a gestores na implementação de políticas de formação na área.



Figura 1: Rede chinesa de comunicação quântica segura de longa distância [2]

## II. DEMANDA DE PROFISSIONAIS

Inicialmente, o mercado em QIST parece restrito a físicos, PhD, etc. Isso ainda se aplica a contextos acadêmicos e pesquisa de ponta [5],[6], mas o avanço industrial das tecnologias quânticas gera novas demandas profissionais, necessitando de outro caminhos formativos, como mostrado na Figura 2. A consolidação do setor requer perfis com competências mais operacionais, especialmente na engenharia, para enfrentar os desafios técnicos da produção e operação.

Habilidades clássicas seguem essenciais para o trabalho com QIST — a engenharia quântica depende de hardware e software clássicos [7] (mesmo havendo especificidades na computação quântica). No entanto, é necessário compreender fenômenos e técnicas para lidar com dados quânticos, por exemplo hardware e protocolos de QKD (Quantum Key Distribution) [8].

A introdução desses conteúdos já na graduação pode reduzir a necessidade de profissionais com formação avançada para funções técnicas nas QIST. Segundo lideranças do setor [6], há demanda crescente por engenheiros com domínio dos conceitos quânticos aplicados [5].

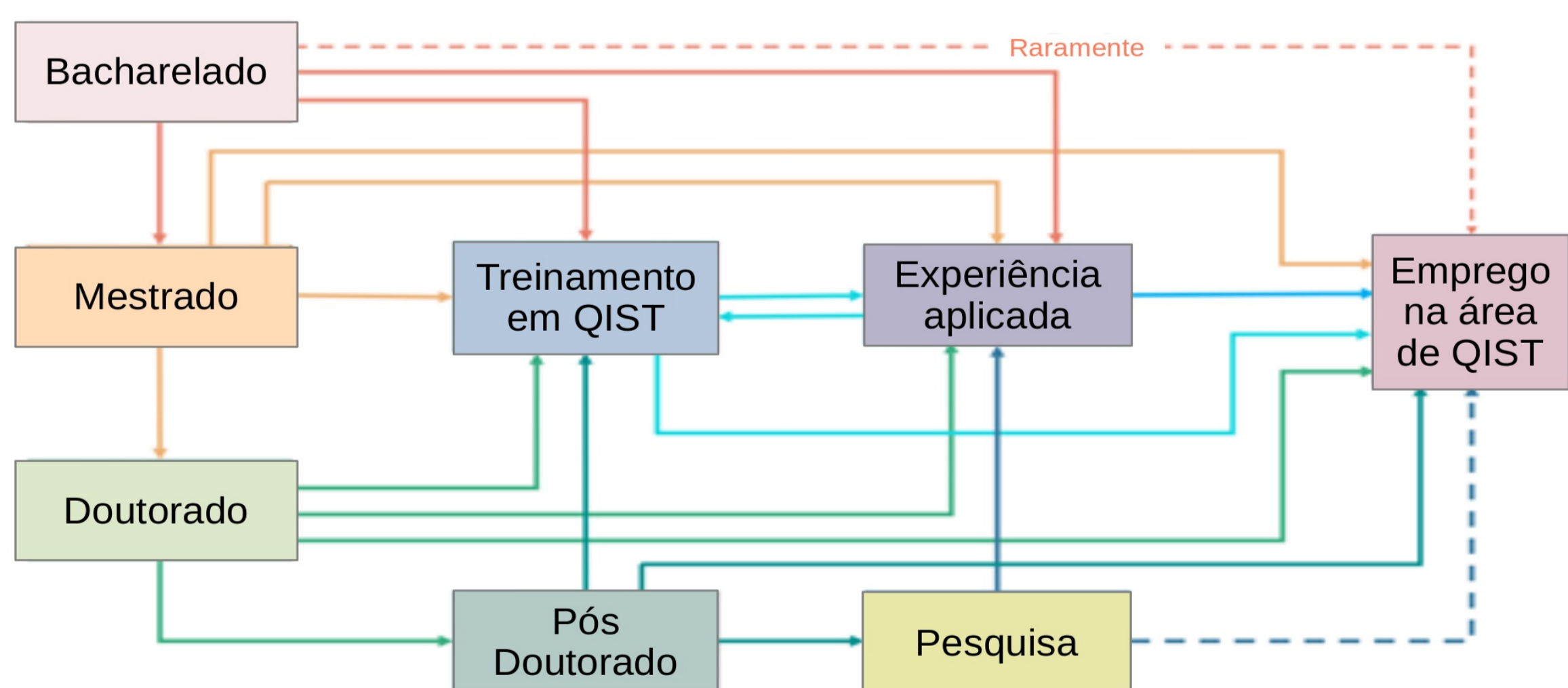


Figura 2: Diagrama de trajetórias formativas na indústria quântica [5].

## III. PROGRAMAS EXISTENTES

Cursos introdutórios em QIST já são oferecidos a alunos de graduação e em treinamentos corporativos, com foco em práticas laboratoriais e mentorias [6]. Um exemplo inovador é o curso de graduação em Engenharia Quântica da Universidade de New South Wales, em Sydney [9]. Segundo seus idealizadores, o curso atende a uma demanda real de mercado, no nível de bacharelado. Baseado nos fundamentos comuns da engenharia, com foco em eletrônica, o programa inclui comunicação, computação e controle quânticos, além de habilidades clássicas. As aulas combinam laboratórios práticos e simulações de fenômenos complexos, visando reduzir o tempo de inserção profissional na indústria das QIST [9]. No Brasil, destaca-se o Certificado de Estudos Especiais em Engenharia Quântica da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, que oferece disciplinas como fotônica, teoria da informação quântica e microeletrônica, voltadas à formação de engenheiros para o setor [10]. Outra alternativa são certificações do tipo minor, já adotadas por universidades nos EUA, com 6 a 7 disciplinas sobre hardware, computação e comunicação quântica, como via complementar à formação graduada [8]. Nessa linha, o ITA já oferece um Programa de Formação Complementar e irá oferecer novos programas [11].

## IV. RECURSOS EDUCACIONAIS

A formação em QIST exige uma forte componente laboratorial, essencial para a compreensão prática dos conceitos [12]. Porém, limitações orçamentárias e restrições à exportação — especialmente em países como o Brasil — dificultam a aquisição destes equipamentos. Softwares de simulação e laboratórios virtuais são também opções viáveis: um exemplo é o QuVis, da Universidade de St. Andrews, mostrados na Figura 3 [13], que oferece simulações de óptica quântica e criptografia quântica, com explicações e questionamentos guiados. Outra opção é o Virtual Lab da start-up Quantum Flytrap [14], que permite montar experimentos interativos com fótons, polarizadores e portas lógicas, abordando efeitos como o emaranhamento em estados de Bell.

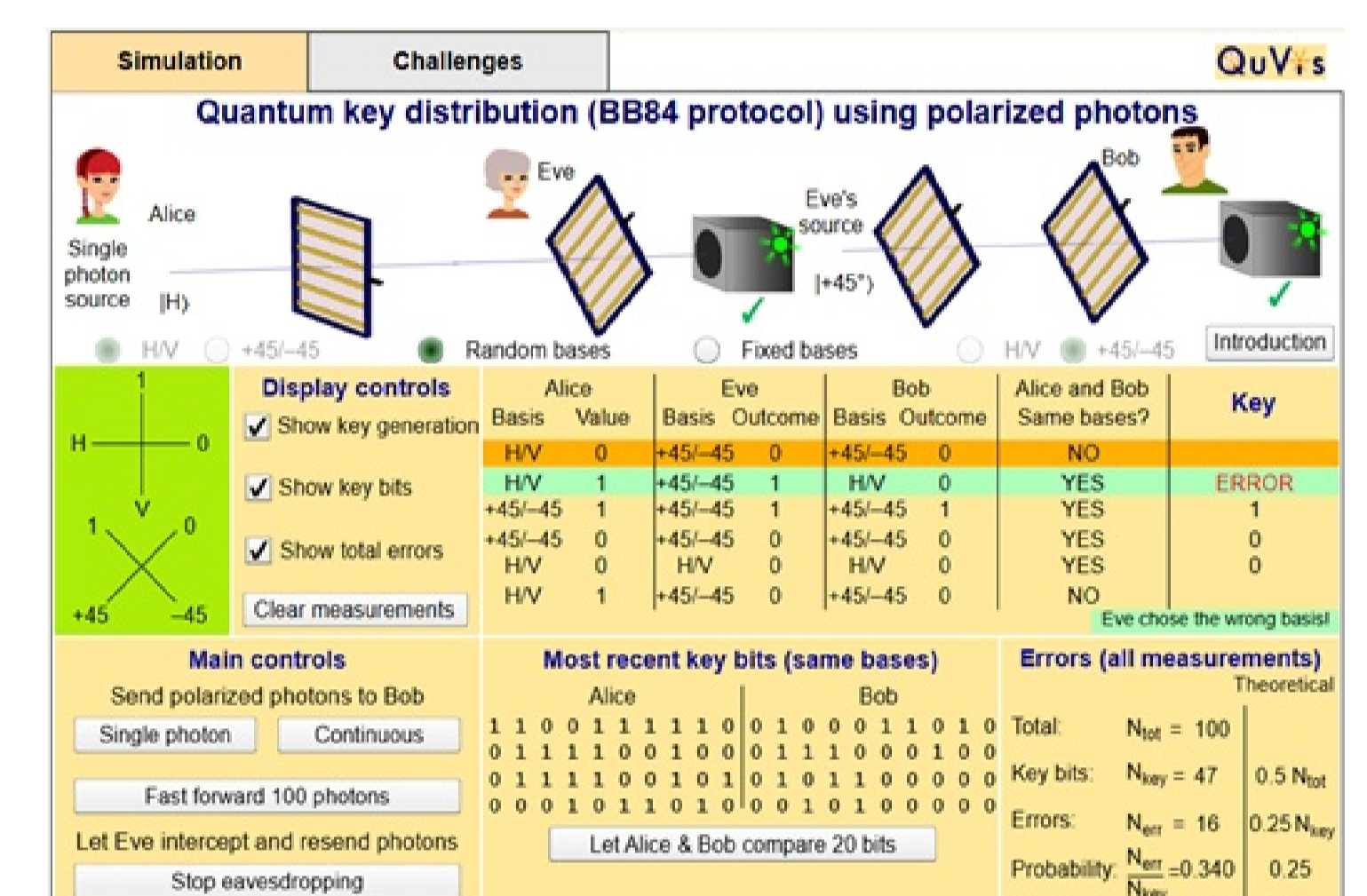


Figura 3: Captura de tela de simulação no site QuVis [13], ilustrando a troca de chaves via protocolo BB84 com interceptação (eavesdropping).

Além de simulações, eventos como hackathons, workshops e conferências em QIST também contribuem para atrair novos interessados e aproximar empresas e universidades [5].

Ainda assim, recursos laboratoriais tradicionais seguem essenciais. Um exemplo é o sistema Cerberis XGR da ID Quantique [15], que permite o estudo em QKD com visualização dos parâmetros do sistema e operação em tempo real, o qual está sendo disponibilizado no novo Espaço de Tecnologias Quânticas no Centro de Excelência em Guerra Eletrônica do ITA.

## V. DISCUSSÃO

Universidades brasileiras deverão atender a essa nova demanda da engenharia. Isso se aplica fortemente ao contexto do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, devido à alta relevância das tecnologias quânticas para a defesa e à relação com indústrias de tecnologia de ponta. Já há no ITA um programa de formação complementar (*minor*) em Engenharia Física [11], que contempla os fundamentos da quântica. Contudo, para melhor foco, pode-se pensar, a princípio, na oferta de *minors* em Engenharia Quântica e, futuramente, na implementação de um curso de graduação em Engenharia Quântica no ITA, uma necessidade de formação no Brasil já indicada pelo CREA [4].

Os autores agradecem o apoio de Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Projeto 0734/24.

## REFERÊNCIAS

1. Cientistas apresentam possibilidades para desenvolver a computação e internet quântica no Brasil. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/08/cientistas-apresentam-possibilidades-para-desenvolver-a-computacao-e-internet-quantica-no-brasil>.
2. Qi, Wei. A Brief Introduction to the Latest Progress of China's QKD Industry. [S. l.: s. n.], 2023.
3. REGULATION - 2021/821 - EN - EUR-LEX. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/821/oj/eng>. Acesso em: 25 jun. 2025.
4. REVISTA CREA-SP. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: [https://www.creasp.org.br/novo\\_site/wp-content/uploads/2024/06/240620-CREA-revista-ed12-AF.pdf](https://www.creasp.org.br/novo_site/wp-content/uploads/2024/06/240620-CREA-revista-ed12-AF.pdf).
5. KAUR, Maninder; VENEGAS-GOMEZ, Araceli. Defining the quantum workforce landscape: a review of global quantum education initiatives. *Optical Engineering*, [s. l.], v. 61, n. 08, 2022. Disponível em: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/optical-engineering/volume-61/issue-08/081806/Defining-the-quantum-workforce-landscape--a-review-of-global/10.1117/1.OE.61.8.081806.full>. Acesso em: 28 maio 2025.
6. GREINERT, Franziska et al. Advancing quantum technology workforce: industry insights into qualification and training needs. *EPJ Quantum Technology*, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 82, 2024.
7. FOX, Michael F. J.; ZWICKL, Benjamin M.; LEWANDOWSKI, H. J. Preparing for the quantum revolution: What is the role of higher education?. *Physical Review Physics Education Research*, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 020131, 2020.
8. ASFAW, Abraham et al. Building a Quantum Engineering Undergraduate Program. *IEEE Transactions on Education*, [s. l.], v. 65, n. 2, p. 220–242, 2022.
9. DZURAK, Andrew S. et al. Development of an Undergraduate Quantum Engineering Degree. *IEEE Transactions on Quantum Engineering*, [s. l.], v. 3, p. 1–10, 2022.
10. CEE EM ENGENHARIA QUÂNTICA – SEL – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO – SEL – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://sel.eesc.usp.br/home/graduacao/cee-em-engenharia-quantica-sel-departamento-de-engenharia-eletrica-e-de-computacao/>. Acesso em: 25 jun. 2025.
11. Programa de Formação Complementar em Engenharia Física (PFC-F). [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.ita.br/pfcf>.
12. AIELLO, Clarice D et al. Achieving a quantum smart workforce. *Quantum Science and Technology*, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 030501, 2021.
13. QUVIS. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/>. Acesso em: 25 jun. 2025.
14. QUANTUM FLYTRAP. Virtual Lab. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://quantumflytrap.com/virtual-lab>.
15. CERBERIS XGR QKD SYSTEM - ID QUANTIQUE. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.idquantique.com/quantum-safe-security/products/cerberis-xgr-qkd-system/>. Acesso em: 25 jun. 2025.