

Informação Quântica

Justificativa de abertura de uma vaga MS-3:

Atividades de Pesquisa

A área da informação quântica tem experimentado um crescimento notável nos últimos anos. Além de desempenhar um papel crucial na busca por uma compreensão mais profunda da própria teoria quântica, as tecnologias que exploram tais fenômenos prometem uma revolução, uma vez que implementações de vários protocolos de informação e computação baseados em sistemas quânticos têm o potencial de superar em poder as implementações clássicas utilizadas até então, o que certamente resultará em avanços transformadores para a ciência, a indústria e a sociedade como um todo. Trata-se de uma área intrinsecamente multidisciplinar, que abarca tanto a física teórica quanto a experimental, as ciências da computação, a matemática e a engenharia, e que pode impactar significativamente diversas áreas do conhecimento por meio da simulação quântica. O potencial da informação quântica para redefinir os limites do entendimento humano e impulsionar inovações em uma variedade de campos é imenso, e sua relevância só tende a crescer à medida que continuamos a explorar os mistérios do mundo quântico.

Desde sua concepção, a mecânica quântica tem se mostrado incrivelmente bem-sucedida na explicação de uma miríade de fenômenos físicos. Esses avanços marcantes abriram caminho para a manipulação coerente de recursos genuinamente quânticos, proporcionando uma compreensão mais profunda da mecânica quântica e catalisando o surgimento de novas aplicações, tais como computação, comunicação, simulação e metrologia. A magnitude desses progressos foi reconhecida com o Prêmio Nobel de 2022^[1], concedido a John F. Clauser e Alain Aspect por seus experimentos inovadores, e também a Anton Zeilinger, líder da equipe responsável por uma das versões mais avançadas do mesmo experimento, além de suas diversas outras contribuições notáveis para a área. Essa premiação não apenas celebra as conquistas individuais desses cientistas, mas também destaca a importância dos estudos sobre os fundamentos da mecânica quântica e seu impacto profundo em nossa compreensão do mundo natural e nas tecnologias que moldarão o futuro.

Esse crescimento levou ao estabelecimento de um grande número de centros de pesquisa em informação quântica ao redor do mundo. Grupos de pesquisa teóricos e experimentais existem em um grande número de departamentos de física de universidades americanas. A *National Science Foundation* tem vários programas de apoio especificamente focados nas áreas com maior impacto na informação quântica^[2]. O Congresso dos EUA aprovou o *Quantum National Initiative Act*^[3] em dezembro de 2018, alocando 1,2 bilhão de dólares para apoiar o desenvolvimento de computadores quânticos. A figura 1 mostra o orçamento para a área desde a aprovação da lei.

U.S. QIS R&D Budgets

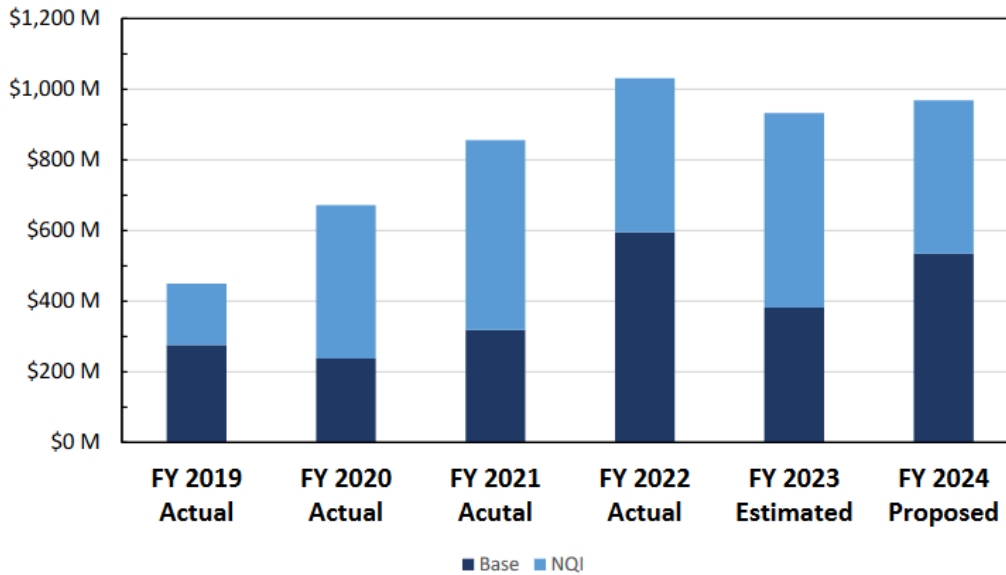


Figura 1: Orçamentos de pesquisa e desenvolvimento dos EUA para Ciência da Informação Quântica desde a criação da Lei NQI. As alturas das barras representam o orçamento total para cada ano fiscal (exercícios fiscais de 2019 a 2022, despesas reais, estimativas de despesas para o exercício fiscal de 2023 e solicitações de orçamento para o exercício fiscal de 2024). A parte de cada barra marcada como 'NQI' identifica o financiamento alocado para atividades autorizadas pela Lei NQI; esse financiamento adicional está além dos orçamentos para atividades básicas. Fonte: *Annual Report on the NQI Program Budget*^[20].

Esforços de magnitude similar são feitos na Europa, com a criação de estruturas no nível nacional no Reino Unido^[4], na Holanda^[5] e Áustria^[6], e no nível continental com a recente iniciativa da Comissão Europeia *Future and Emerging Technologies: Flagship on Quantum Technologies*^[7], resultando num investimento de um bilhão de euros. Iniciativas similares existem na Ásia, particularmente na China com a criação do *National Laboratory for Quantum Information Science*^[8]. O satélite chinês *Micius*, lançado em 2016, é uma grande conquista tecnológica, que permitiu a comunicação segura bidirecional estabelecendo uma ligação entre a China e a Europa^[9]. Duas cidades chinesas, separadas por mais de mil quilômetros, também foram conectadas através do satélite. Utilizando conexões terrestres, Pequim, Xangai, Jinan, Hefei e outras cidades estão conectadas desde 2018^[10], usando 32 nós seguros para retransmitir chaves criptográficas que podem ser usadas, por exemplo, por bancos.

Além da pesquisa realizada em instituições públicas e apoiada pelos estados, existem também projetos de pesquisa bem avançada na indústria privada. Grandes empresas de computação, como a já mencionada *Google*^[11], além de *IBM*^[12], *Intel*^[13] e *Microsoft*^[14], estão investindo recursos significativos em tecnologias de informação quântica, que são consideradas estratégicas. Além dessas gigantes da tecnologia, outros jogadores importantes como *Alibaba*^[15], *D-Wave*^[16], *Rigetti*^[17] e *Amazon*^[18] estão investindo no setor. Em 2023, a *IBM* lançou um processador de 133 qubits e revelou um roteiro propondo pelo menos dobrar os tamanhos a cada ano, planejando chegar a mais de mil qubits no futuro breve^[19]. A empresa *IonQ* anunciou um processador com 64 qubits algorítmicos usando íons armadilhados, e também prevê aumentar suas capacidades a cada ano^[20].

Nos últimos dois anos, os primeiros passos para uma iniciativa financiada pela FAPESP foram dados em São Paulo^[21]. Surgiu a *Quantum Information Technologies*, ou *QuInTec*, com o propósito de unir a excelência e o vigor de nossa comunidade acadêmica a metas relevantes para os agentes econômicos do Estado. A proposta é integrar pesquisadores em diálogo com empresas, visando transformar estudos em soluções aplicadas ao mundo real e estimular a criação de startups pelos estudantes da área. Pelo menos 30 pesquisadores em tecnologias quânticas foram identificados em São Paulo, distribuídos em grupos de pesquisa relevantes nas principais universidades do Estado: Unicamp (IFGW, IMECC, FEEC), USP na cidade de São Paulo (IFUSP) e em São Carlos (EESC e IFSC), UFSCar, UFABC e Unesp (em Araraquara e Bauru). Embora ainda não tenhamos uma iniciativa estratégica nacional estabelecida, outros grupos de pesquisa com reconhecimento internacional também estão presentes em diferentes estados, como no Rio de Janeiro (UFRJ e UFF), Minas Gerais (UFMG) e Pernambuco (UFPE).

No IFUSP existe hoje um grupo experimental bem estabelecido de ótica quântica com impacto nas bases da informação quântica e um grupo teórico com foco em fundamentos de física quântica e suas aplicações em informação quântica. Apesar de ter começado em 2019, o grupo teórico já recebeu financiamento através de auxílios prestigiosos, como o auxílio Jovens Pesquisadores da FAPESP e o auxílio do Instituto Serrapilheira, além de ter atraído diversos pesquisadores e estudantes interessados no tema. No entanto, existe uma grande variedade de outras técnicas teóricas e experimentais possíveis para estudar informação quântica, tanto para aplicações em comunicação e computação quântica, metrologia etc., como no estudo de sistemas físicos através de simulação. Também, apesar de existirem outros teóricos com interesses que tocam em parte alguns aspectos de informação quântica, eles não constituem uma massa crítica que permita ao Instituto dar a importância e ênfase que a área merece, em particular em comparação com outros centros. Temos que ser protagonistas nessas novas iniciativas e atrair parte desse investimento para o nosso instituto.

A presente proposta visa expandir a área de informação quântica no IFUSP com uma contratação em qualquer um dos seus temas específicos: computação quântica, comunicação, metrologia, implementações físicas, e as relações com física fundamental como por exemplo com holografia e buracos negros^[22] e materiais topológicos^[23,24]. Candidatos teóricos devem ser priorizados em função do estágio menos consolidado dentro do IFUSP. Porém, não deve ser descartada a possibilidade de contratar um excelente candidato experimental. Portanto, a proposta é que o edital do concurso seja na área de “Informação Quântica”, sem especificação de teoria ou experimento. A ênfase nos candidatos teóricos poderá ser apresentada nos anúncios nacionais e internacionais, sempre apontando que candidatos experimentais de excepcional qualidade também serão considerados.

Dada a necessidade inicial de cobrir muitos aspectos da área no IFUSP, essa vaga deve ser aberta da forma mais abrangente possível, o que traz a vantagem de poder atrair um maior número de bons candidatos. No futuro, outras contratações em informação quântica podem ser mais focadas para gerar um grupo de professores tanto teóricos como experimentais que resultem numa presença significativa do IFUSP numa área de alto impacto multidisciplinar e em expansão.

Quanto aos candidatos viáveis para este concurso, destacam-se facilmente excelentes pesquisadores pós-doutores, assim como jovens docentes de outras instituições acadêmicas, que poderiam se sobressair como potenciais candidatos para essa posição. A área da informação quântica tem experimentado um crescimento acelerado, atraindo numerosos estudantes, o que se reflete no notável aumento de jovens pesquisadores com formação nesse campo.

Por fim, cremos que a presente proposta não só venha ao encontro dos anseios de atualização das linhas de pesquisa do IFUSP, como também permitirá estabelecer ligações com outras unidades da USP que acompanhem com interesse próximo os desenvolvimentos acima listados e suas perspectivas, tais como áreas de Matemática e da Engenharia, abrindo também possibilidades de interações

inovadoras da Universidade com o parque produtivo nacional.

Ensino

O professor selecionado com esse perfil representará uma escolha excepcional para lecionar disciplinas cruciais como Mecânica Quântica I e II tanto na graduação quanto na pós-graduação, e ainda para ministrar a disciplina avançada "Quantum Information and Quantum Noise" no âmbito da pós-graduação. Dependendo de sua expertise, poderá se estender além dessas áreas, contribuindo de maneira significativa para outras disciplinas como Ótica Quântica, Eletromagnetismo ou Física Matemática, conforme as demandas acadêmicas e a necessidade do programa. Como a Informação Quântica é uma área multidisciplinar, o professor contratado certamente terá capacidade de abordar uma gama diversificada de assuntos com versatilidade e habilidade de se adaptar às diferentes exigências do currículo, enriquecendo assim a experiência de aprendizagem dos alunos e fortalecendo o corpo docente com sua ampla expertise.

Divulgação Científica

A Informação Quântica tem despertado o interesse não apenas entre os círculos acadêmicos, mas também capturado a atenção do público em geral. É por essa razão que ela se revela uma porta de entrada excepcional e um atrativo poderoso para iniciativas de divulgação científica. Em particular, os avanços na computação quântica e na criptografia quântica destacam-se nesse contexto, pois não apenas intrigam as pessoas, mas também oferecem exemplos importantes, porém acessíveis, que permitem a exploração de conceitos fundamentais da Física Quântica sem a necessidade de um embasamento matemático complexo. Esses temas fornecem uma ponte acessível para o entendimento de princípios profundos da natureza e abrem as portas para uma compreensão mais ampla e apreciação do mundo quântico e tecnologias quânticas que nos cercam.

O grupo de informação quântica do instituto têm várias iniciativas nesse sentido. Já foram ministradas várias palestras para o público leigo, como nos eventos Pint of Science, Pergunte a um Cientista e Papos de Física, participação em podcasts, várias entrevistas para grandes veículos de mídia, e até auxílio na construção de personagens para o núcleo de teledramaturgia da TV Globo. Participamos também do comitê de divulgação científica do Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Informação Quântica (INCT-IQ), cujo objetivo é divulgar o trabalho da comunidade brasileira que atua na área nas redes sociais (Instagram, Facebook e Twitter) e também divulgar o que é informação quântica para o público em geral. Uma das principais iniciativas é o Bate-papo Quântico. Inspirado no evento realizado em comemoração ao Dia Mundial Quântico, o INCT-IQ inaugurou esta atividade para popularizar a física quântica. A ideia é ter encontros periódicos, que acontecem no canal no Youtube, em que cientistas que trabalham com física quântica interagem com o público que participa enviando perguntas e comentários no chat do canal. O princípio de funcionamento do chat é que o público estimule a conversa com muitas perguntas e comentários e que todos sejam convidados a contribuir. Além disso divulgamos drops, vídeos curtos com recortes das perguntas e respostas mais interessantes que foram discutidas no bate-papo. Além disso, também participamos do Programa Mentores da Olimpíada Brasileira de Matemática de Escolas Públicas (OBMEP), ministrando o curso *O Bit Quântico: a matemática necessária para descrever o sistema quântico mais simples que existe*,

no qual abordamos a matemática necessária para descrever o sistema quântico mais simples que existe, comumente chamado de sistema de dois níveis ou Bit Quântico. A ideia é utilizar nosso tema principal de pesquisa para despertar o interesse dos alunos por física.

O candidato escolhido para esta posição estará habilitado a participar de todas as iniciativas de divulgação científica em curso e, é claro, poderá propor outras que certamente enriquecerão a apresentação da ciência em sua totalidade e do nosso trabalho específico para o público em geral, além de promover a imagem do instituto junto ao público externo.

Referências

1. The Nobel Prize in Physics 2022, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary/>
2. https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=505207
3. <https://www.quantum.gov/>
4. <http://uknqt.epsrc.ac.uk/>
<https://www.epsrc.ac.uk/newsevents/news/ministerdtpqt/>
5. <https://qutech.nl/>
6. <https://www.ffg.at/en/quantum-austria>
7. <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/fetflag-03-2018.html>
8. <http://www.scmp.com/news/china/society/article/2110563/china-building-worlds-biggest-quantum-research-facility>
9. <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-37091833>
10. <https://spectrum.ieee.org/telecom/security/chinas-2000km-quantum-link-is-almost-complete>
11. <https://quantumai.google/>
12. <https://quantum-computing.ibm.com/>
13. <https://www.intel.com/content/www/us/en/research/quantum-computing.html>
14. <https://www.microsoft.com/en-us/quantum>
15. <https://damo.alibaba.com/labs/quantum>
16. <https://www.dwavesys.com/take-leap>
17. <https://www.rigetti.com/>
18. <https://aws.amazon.com/braket/>
19. <https://newsroom.ibm.com/2023-12-04-IBM-Debuts-Next-Generation-Quantum-Processor-IBM-Quantum-System-Two,-Extends-Roadmap-to-Advance-Era-of-Quantum-Utility>
20. <https://ionq.com/>
21. <https://sites.google.com/unicamp.br/quintec>
22. D. Harlow, *Jerusalem Lectures on Black Holes and Quantum Information*, Rev. Mod. Phys. **88**, 15002 (2016).
<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.88.015002>