

Fundamentos da computação quântica e potenciais aplicações na área da saúde

DOI: 10.5281/zenodo.15300431

Hellen Ferreira da Silva^{a*}

This work aims to explore the foundations of emerging quantum computing and its potential applications in healthcare, highlighting how this technology has the potential to overcome existing limitations and contribute to the future of medical care. Additionally, it addresses the challenges of this emerging field.

Esse trabalho visa abordar a fundamentação da eminente computação quântica e seus potenciais aplicações na área da saúde, destacando como essa tecnologia tem potencial para superar limitações existentes e colaborar com o futuro dos cuidados médicos. Além disso, aborda os desafios dessa área emergente.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: hellenferreiradf@gmail.com

Palavras-chave: Computação quântica; simulação molecular; medicina especializada; qubits.

Recebido em 21 de março de 2025,

Aprovado em 12 de abril de 2025,

Publicado em 01 de maio de 2025.

Introdução

O século XX foi marcado por um acelerado avanço científico e tecnológico, com inovações que impactaram o modo de vida por meio da interação com o digital.^{1,2} Em particular, os computadores têm desempenhado um papel de enorme relevância nas áreas da física, química, matemática e ciências da computação. Em decorrências desses avanços em cada uma dessas áreas, novos desenvolvimentos surgem em setores como a saúde, a economia e as finanças, entre outros.³

Os computadores clássicos utilizam princípios da mecânica clássica para operar. A computação é fundamentada sobre um *bit*, sigla para “*Binary Digit*”, traduzida como “Dígito Binário”, o que justifica o nome de sistema binário. O *bit* é a menor unidade de informação que um computador pode apresentar, e ele pode assumir dois valores, 0 ou 1. O uso de circuitos eletrônicos para executar operações lógicas é o que chamamos hoje de programação. Todos os algoritmos processados por um computador clássico são, em sua base estrutural, séries de 0 e 1. A passagem de corrente elétrica por válvulas eletrônicas representa o valor 1, quando estão abertas (permitindo a passagem de corrente) e o valor 0 quando fechadas (impedindo a passagem de corrente). Os transistores nada mais são do que válvulas eletrônicas em escala microscópica e seu papel é realizar séries de operações com os dígitos binários.⁴

No entanto, a computação clássica apresenta limitações. Apesar de ser suficiente para as atividades cotidianas, quando aplicada a problemas mais complexos, mesmo os processadores mais avançados podem levar anos

para realizar cálculos e simulações moleculares e, em alguns casos, essas tarefas são até mesmo impossíveis.⁴ Esse limite também se deve ao fato de que, segundo a Lei de Moore, empiricamente proposta por Gordon Moore em 1975, o número de transistores em um processador deveria dobrar a cada 24 meses.^{5,6} No entanto, estamos nos aproximando de um limite físico.⁷ Os computadores trabalham por meio de algoritmos que seguem etapas predefinidas, e cada transistor é responsável por processar essas etapas. A problemática se encontra no fato de que os transistores possuem um tamanho mínimo e já atingiram escalas atômicas.⁸ Isso torna inviável o aumento contínuo do número de transistores em um processador, caracterizando o chamado limite físico da computação clássica.⁹

Nesse cenário, surge a computação quântica, que usufrui de propriedades da mecânica quântica para potencializar o processamento das máquinas. A principal diferença em relação a computação clássica está nos *bits*, nos computadores quânticos, eles são chamados de *qubits* e possuem características como a superposição e emaranhamento quântico. Essas propriedades permitem que os *qubits* representem simultaneamente os estados 0 e 1, viabilizando cálculos que seriam inviáveis em sistemas tradicionais.¹⁰

As vantagens dos sistemas quânticos abrem novas possibilidades para a realização de cálculos complexos, com aplicações promissoras em diversas áreas.¹¹ Elas impulsionam avanços na simulação quântica, no estudo da interação entre os elétrons e, consequentemente, na interação entre moléculas.³ Essas simulações possibilitam a análise da interação entre

materiais, reduzindo a necessidade da experimentação laboriosa. Em comparação com a computação clássica, a computação quântica oferece benefícios em problemas biomédicos de alta complexidade computacional.¹² Um exemplo é a otimização de processos inerentemente quânticos, como a simulação de interações moleculares.¹² Essas simulações contribuem para o avanço científico em áreas como a pesquisa médica,³ vertente explorada neste trabalho.

Dentre as possíveis aplicações da computação quântica na saúde, destacam-se a descoberta de novos medicamentos, a medicina de precisão além de avanços na radioterapia e na assistência ao diagnóstico.^{12,13} No entanto, essa tecnologia ainda apresenta limitações que precisam ser consideradas.

Este artigo visa explorar os fundamentos da computação quântica e suas perspectivas de aplicações no setor da saúde, destacando como essa tecnologia emergente pode superar limitações existentes e colaborar para o futuro dos cuidados médicos, além de abordar os desafios dessa inovação.

Metodologia

Para o desenvolvimento deste artigo, realizou-se uma busca bibliográfica específica nos periódicos Google Acadêmico, Periódicos CAPES, *PubMed*, *SciELO*, *Wiley Online Library* e *ACS Publications* acessadas por meio do acesso gratuito concedido a estudantes da Universidade de Brasília (UnB) pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). Utilizaram-se as palavras-chave “Computação Quântica”, “Saúde”, “Química Quântica”, “Qubits” e “Biomedicina”. Por se tratar de uma área em ascensão, com grandes evoluções em curtos períodos de tempo, foram considerados, para as aplicações, artigos publicados entre 2022 e 2025, a fim de obter as informações mais recentes sobre o tema.

Resultados e discussão

Um *qubit*, regido pelas leis da mecânica quântica, podem ser os estados 0, 1 ou uma combinação linear entre eles. Cada combinação linear é um estado de superposição, definido pela Equação 1.⁷

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

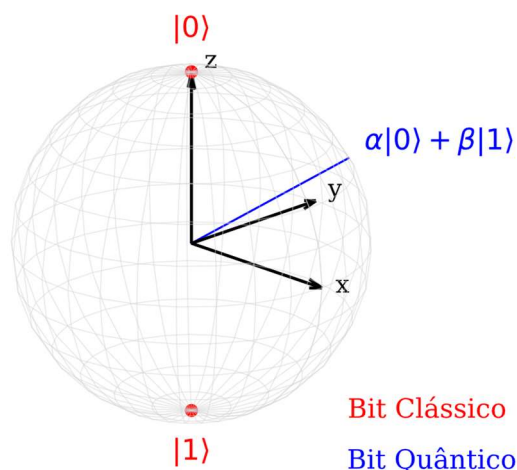
Na notação de Dirac, $|\cdot\rangle$ é usada para representar um estado quântico. Os valores de α e β são os coeficientes de polarização da combinação linear, indicam os pesos de participação dos estados 0 e 1 em cada operação definida na Equação 1 e satisfazem a Equação 2.

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (2)$$

São números complexos que, quando elevados ao quadrado, representam a probabilidade de os estados serem $|0\rangle$ ou $|1\rangle$ quando medidos.⁷

A ilustração de um *qubit* é frequentemente feita pela esfera de Bloch. Enquanto um *bit* só pode ser encontrado nos polos da esfera, ao longo do eixo z, os *qubits* podem estar em toda a superfície da esfera.¹¹ Tal fator é parcialmente responsável pela aceleração nos computadores quânticos.

Figura 1. Esfera de Bloch.



O emaranhamento quântico é uma das características que confere aos computadores quânticos um diferencial significativo. Aplicado aos *qubits*, significa que dois ou mais *qubits* estão conectados quanticamente de tal forma que a percepção do estado de um dos *qubits* afeta instantaneamente o estado do outro, mesmo que estejam separados por grandes distâncias.² Isso permite que operações em sistemas quânticos ocorram de forma simultânea e interdependente, aumentando a capacidade computacional. Sem emaranhamento, os sistemas quânticos perdem sua vantagem sobre os clássicos.¹⁴

A interferência é outro fenômeno que ocorre quando as amplitudes de probabilidades de diferentes estados

quânticos se combinam. Elas podem se somar ou subtrair, resultados em padrões de interferência que são utilizados para melhorar a eficiência dos cálculos.²

Essas propriedades permitem que um computador realize, ao invés de um, vários cálculos ao mesmo tempo, o que aumenta exponencialmente a capacidade de processamento em relação às máquinas clássicas.² Isso permite explorar diferentes modos de calcular a resposta de um problema, uma vez que um *qubit* equivale a 2^{bits} . Esta relação exponencial permite que computadores quânticos encontrem soluções com menos operações que um computador clássico, pois ele consegue testar mais possibilidades ao mesmo tempo.⁴

A decoerência é a propriedade que justifica os computadores quânticos serem mais suscetíveis a erros e necessitarem de condições de operações delicadas. É o processo onde um *qubit* perde sua superposição e se torna um estado clássico de 0 ou 1, resultando na perda do diferencial desses computadores. Pequenos fatores podem levar a decoerência, entre eles a temperatura, vibração e ruído magnético. Essa é a razão pela qual computadores quânticos precisam de refrigeradores e são inviáveis para o uso doméstico. A decoerência é uma das principais limitações, pois restringe o tempo que um *qubit* permanece em superposição e isso afeta o tempo de computação. O erro nos cálculos pode ser causado por defeitos nos *qubits*, enquanto o ruído é causado pela interação com o ambiente, e precisa ser minimizado para garantir a confiabilidade.²

A computação quântica tem um imenso potencial para ser empregado em diversas áreas, em especial no setor da saúde. A tecnologia pode ser adotada na saúde devido às características mencionadas, que permitem serviços de saúde rápidos, personalizados e precisos.¹⁶

Simulações quânticas, descobertas de medicamentos e pesquisas em saúde

Todas as propriedades do corpo humano e dos medicamentos têm fundamento na natureza quântica dos átomos. Simulá-las significa entender seu funcionamento sem a necessidade de fazer experimentos caros e longos. Os procedimentos da saúde frequentemente envolvem estruturas moleculares altamente acopladas com elétrons interagindo.¹⁶ Muitas dessas simulações na computação clássica são tratadas apenas com aproximações, principalmente para moléculas grandes, o caso dos fármacos. No entanto, simulações e modelagens a nível atômico são de supra necessidade para a pesquisa médica.¹³

Com os avanços na computação quântica, torna-se mais viável as simulações com moléculas maiores, permitindo análises mais detalhadas.¹⁷ A descoberta de novos medicamentos requer modelagens a nível de interação eletrônica, considerando as energias durante a reação química. As máquinas clássicas utilizam de aproximações para calcular energia, além de que calcular o comportamento quântico de elétrons envolve muito tempo de computação.¹³ Tais aproximações reduzem a precisão colocando ônus sobre o químico para validar os resultados em laboratório, o que pode ser um trabalho demorado e que tem alta especificidade. As simulações podem prever a farmacocinética e farmacodinâmica de novos medicamentos.¹⁸ Algoritmos quânticos melhoram a eficiência desse processo ao permitir a rápida identificação de compostos promissores com base em suas propriedades de interação.

Pesquisas na área da saúde, como as de Padalhin et al. e Maheshwari et al.²³ demonstram como a computação quântica tem sido aplicada para otimizar a estrutura molecular de medicamentos. Isso resulta em fármacos mais eficazes e seguros, reduzindo efeitos colaterais.

A implementação dessas simulações pode acelerar o tempo de desenvolvimento e lançamento de novos medicamentos, otimizando o uso de recursos na pesquisa médica.^{19,20} No entanto, a adoção da computação quântica enfrenta desafios práticos. Um dos principais obstáculos é a limitação do tempo de coerência dos *qubits*, que restringe a duração das operações computacionais antes que a decoerência afete os resultados. Para mitigar esse problema, estão sendo desenvolvidos algoritmos híbridos quântico-clássicos, como o *Variational Quantum Eigensolver* (VQE). Esse algoritmo combina o processamento clássico e quântico, aproveitando os recursos das máquinas convencionais e acionando os computadores quânticos por meio de serviços em nuvem. Dessa forma, o VQE consegue encontrar estados de energia mínima com maior eficiência, permitindo simular moléculas e reações químicas com maior precisão.³ A abordagem híbrida diminui os efeitos de ruído e erros, além de que o tempo de computação diminui, colaborando para a limitação causada pela decoerência e sendo uma alternativa promissora no cenário.

Paralelamente, a utilização de computadores quânticos tem sido fundamental também na área da química quântica para compreender e modelar sistemas moleculares complexos.²

Assistência de diagnóstico, imagens e medicina de precisão

A medicina personalizada depende fortemente da capacidade de analisar e interpretar grandes volumes de dados para determinar o tratamento mais eficaz para cada indivíduo, com base nas informações genéticas.²⁰ A computação quântica pode ser utilizada para analisar rapidamente esses dados genéticos, permitindo que os médicos prescrevam medicamentos com maior probabilidade de serem eficazes, considerando a composição genética do paciente. Além disso, técnicas de imagem aprimoradas e análises de dados melhoradas aumentam a precisão dos diagnósticos e melhoram a detecção de doenças em estágios iniciais.¹³

Radioterapia

A radioterapia utiliza feixes de radiação para eliminar células cancerosas e impedir sua multiplicação. Esses feixes devem ser direcionados com precisão aos tecidos cancerosos, evitando danos às células saudáveis. Para isso, são necessários cálculos e simulações altamente precisos. A computação quântica oferece a oportunidade de realizar simulações simultâneas, reduzindo o tempo necessário para obter resultados.¹³ A adoção da computação quântica permite que várias simulações sejam realizadas ao mesmo tempo, facilitando a determinação de soluções eficazes de forma mais rápida.¹⁹

Embora a computação quântica apresente um potencial para o setor da saúde, esse potencial não vem sem erros significativos. Os computadores quânticos exigem condições extremamente delicadas para funcionar, como temperaturas ultrabaixas e ambientes minimizados em interferência elétrica e magnética, o que torna o processo de manutenção caro e complexo. Além disso, são propensos a erros devido à decoerência e ao ruído, limitando a confiabilidade dos resultados. Em contrapartida, algoritmos híbridos, como o VQE, ajudam a amenizar parte desses erros e possuem ampla aplicabilidade.²⁰ No entanto, as grandes aplicações da computação quântica são específicas, e a computação clássica, apesar das aproximações, continua a ter grande relevância para a ciência.²¹

É importante ressaltar que a eficácia dessas computações está combinada com a presença de algoritmos. A computação quântica não depende inteiramente das propriedades mencionadas dos *qubits* sozinhos, envolve o uso de softwares específicos, incluindo algoritmos de mitigação de erros, que são essenciais.¹⁶ A amenização de erros nesse campo é uma área que ainda precisa ser muito explorada. Além disso,

a necessidade de experiência específica nessa computação e nas ciências farmacêuticas representa um desafio para o trabalho.²⁰

À medida que a computação quântica cresce, suas aplicações também se expandem. O futuro dessa tecnologia na saúde parece promissor, combinando expertises em quântica e na área da saúde. Em uma escala mais ampla, há um reconhecimento crescente do potencial da computação quântica para enfrentar problemas globais.²⁰ Embora a computação quântica ainda enfrente desafios significativos, suas aplicações emergentes na saúde oferecem um vislumbre de um futuro onde diagnósticos são mais rápidos, tratamentos são mais eficazes e a inovação médica alcança novos patamares.

Conclusões

Computação quântica é uma área de intenso desenvolvimento, com avanços rápidos e significativos. A sua integração no setor da saúde tem um certo potencial, principalmente no que diz respeito a simulação molecular, desenvolvimento de novos remédios, assistência em diagnóstico e na pesquisa médica. Esses avanços podem trazer benefícios significativos para a saúde e para os pacientes. No entanto, as limitações de aplicabilidade representam uma barreira, embora algoritmos híbridos estejam sendo implementados para mitigar esses desafios, a continuidade do incentivo à pesquisa é crucial para garantir avanços no futuro. O incentivo à pesquisa nesse campo é essencial para impulsionar novas descobertas. Embora as barreiras pareçam desafiadoras, elas podem ser superadas por meio de abordagens colaborativas.²²

À medida que a computação quântica continua a evoluir, seu impacto na saúde dependerá da superação de obstáculos técnicos. O incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de técnicas para edulcorar erros é essencial para garantir melhores resultados para os pacientes.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de observações são de Hellen Ferreira da Silva.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- Galvão, Lucas Queiroz, et al. Possibilidades e Desafios da Inserção da Computação Quântica no Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2024, **46**.
- M. Porto, Caio, et al. COMPUTAÇÃO QUÂNTICA EM QUÍMICA. *Química Nova*, 2025.
- Cao, Yudong, et al. Quantum Chemistry in the Age of Quantum Computing. *Chemical Reviews*, 2019, **19**.
- Brito, Magno Leal de. Bit & Qubits adventures: uma proposta de gamificação para ensino de computação quântica, *Repositório, Instituto Federal do Espírito Santo*, 2024.
- Moore, Gordon E. Progress in digital integrated electronics [Technical literature, Copyright 1975 IEEE. Reprinted, with permission. Technical Digest. International Electron Devices Meeting, IEEE, 1975, pp. 11-13.]. *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, 2006, **11**, 36–37.
- Siddiqi, Irfan, e John Clarke. Entangled Solid-State Circuits. *Science*, 2006.
- Bhat, Hilal Ahmad, et al. Quantum Computing: Fundamentals, Implementations and Applications. *IEEE Open Journal of Nanotechnology*, 2022, **3**, 61–77.
- P. DiVincenzo, Quantum computation, *Science*, 1995.
- G. E. Moore, "Progress in digital integrated electronics", *Proc. IEDM Tech. Dig.*, 1975, 11-13.
- Durant, Thomas J. S., et al. A primer for quantum computing and its applications to healthcare and biomedical research. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 2024, **31**.
- Claudino, Daniel. The basics of quantum computing for chemists. *International Journal of Quantum Chemistry*, 2022, **23**.
- Balamurugan, et al. Quantum computing basics, applications and future perspectives. *Journal of Molecular Structure*, 2024, **13**.
- Ur Rasool, Raihan, et al. Quantum Computing for Healthcare: A Review. *Future Internet*, 2023, **15**.
- Tarasov, P. A., et al. The utilization of perspective quantum technologies in biomedicine. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, **1**.
- Dhande, Chaitali, e Preenon Bagchi. Quantum Computing in Healthcare and Medicines. *Organizado por R. Somashekhar et al.*, 2023.
- Araújo, Gilmar Da Silva, et al. ALÉM DO HORIZONTE DIGITAL: O FASCÍNIO DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA. *ARACÊ*, 2025, **7**.
- Pulipeti, Srikanth, e Adarsh Kumar. Secure quantum computing for healthcare sector: A short analysis. *SECURITY AND PRIVACY*, 2023, **6**.
- Jeyaraman, Naveen, et al. Revolutionizing Healthcare: The Emerging Role of Quantum Computing in Enhancing Medical Technology and Treatment. *Cureus*, 2024.
- Bauer, Bela, et al. Quantum Algorithms for Quantum Chemistry and Quantum Materials Science. *Chemical Reviews*, 2020, **22**.
- Raju, Nandhakumar, et al. Quantum Computing in Healthcare - *Unlocking New Frontiers in Drug Discovery and Data Management*. 2024.
- Outeiral, Carlos, et al. The prospects of quantum computing in computational molecular biology” *WIREs Computational Molecular Science*, 2021, **11**.
- Tarasov, P. A., et al. The utilization of perspective quantum technologies in biomedicine, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, **1**.