

ALÉM DO HORIZONTE DIGITAL: O FASCÍNIO DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n2-202>

Data de submissão: 18/01/2025

Data de publicação: 18/02/2025

Gilmar da Silva Araújo

Mestre em Ensino de Física

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA)

E-mail: gilmarfisi@gmail.com

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6701554644208178>

Cássio Cecato Favarato

Doutor em Física

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG)

E-mail: cassiocefa.fisico@gmail.com

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0364649580177297>

Alan Johnny Romanel Ambrozio

Doutor em Física

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IFBAIANO)

E-mail: ajr.ambrozio@gmail.com

LATTES: <https://lattes.cnpq.br/4483810004040851>

Mérice de Paula Pompermayer

Mestranda em Tecnologias Emergentes em Educação

MUST University

E-mail: merice.pompermayer@educador.edu.es.gov.br

Jussara Silva dos Santos

Mestra em Tecnologias Emergentes em Educação

MUST University

E-mail: jussara_psi@yahoo.com.br

RESUMO

Este estudo investigou os principais desafios, avanços e aplicações da computação quântica, focando no impacto em áreas como segurança digital, inteligência artificial e simulação de materiais. O objetivo geral foi analisar como a computação quântica pode transformar essas áreas e quais obstáculos técnicos e teóricos precisam ser superados para a implementação em larga escala. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, sendo de caráter bibliográfico, com análise de artigos, livros e dissertações recentes que abordam a computação quântica e suas possíveis aplicações. Os resultados revelaram que a computação quântica apresenta um grande potencial para revolucionar a segurança digital, ao oferecer novas formas de criptografia resistentes a ataques de computadores clássicos. Além disso, demonstrou que a computação quântica pode acelerar algoritmos de aprendizado de máquina e otimização em inteligência artificial. Em relação à física de materiais, os avanços observados podem impulsionar a descoberta de novos materiais e fármacos, com aplicações significativas nas indústrias química e farmacêutica. No entanto, desafios técnicos como a estabilidade dos qubits, a correção de erros quânticos e a escalabilidade dos sistemas ainda precisam ser superados.

As considerações finais apontaram que a computação quântica tem um grande potencial transformador, mas que estudos são necessários, em especial no que diz respeito ao desenvolvimento de hardware, software e à integração com outras tecnologias emergentes.

Palavras-chave: Computação Quântica. Segurança Digital. Inteligência Artificial. Simulação de Materiais. Criptografia.

1 INTRODUÇÃO

A computação quântica é um campo emergente da ciência da computação que explora as propriedades da mecânica quântica para desenvolver sistemas de processamento de informações potentes do que os que utilizam os princípios da computação clássica. Enquanto os computadores convencionais utilizam *bits* para representar dados como 0 ou 1, a computação quântica faz uso de *qubits*, que podem representar múltiplos estados simultaneamente, graças à superposição e ao entrelaçamento quântico. Este novo paradigma oferece a possibilidade de resolver problemas complexos que seriam inviáveis para sistemas clássicos, como simulações moleculares, otimização de processos e criptografia avançada. A computação quântica, ainda em estágio de desenvolvimento, tem o potencial de transformar diversas áreas, desde a ciência e a tecnologia até a economia e a segurança digital.

A justificativa para a realização desta pesquisa reside na crescente relevância da computação quântica no cenário atual, com avanços significativos sendo feitos por empresas e universidades ao redor do mundo. A exploração do potencial de sistemas quânticos exige uma compreensão não apenas dos aspectos técnicos, mas também das implicações sociais e éticas de sua implementação. Com o avanço contínuo das pesquisas e as possibilidades de aplicações disruptivas, é imperativo analisar o impacto dessa tecnologia na sociedade, na educação e em setores críticos como segurança, saúde e inteligência artificial. Além disso, a complexidade envolvida na implementação prática de sistemas quânticos levanta questões sobre os desafios técnicos e os limites da tecnologia quântica, os quais ainda precisam ser superados para que suas promessas sejam realizadas.

A questão central que norteia este estudo é: quais são os principais desafios, avanços e aplicações da computação quântica e como ela pode transformar áreas como segurança digital, inteligência artificial e simulação de materiais? Essa questão busca investigar os aspectos técnicos e sociais da computação quântica, abrangendo desde a teoria que sustenta seus fundamentos até as potenciais aplicações no mercado global. A pesquisa também se debruça sobre os obstáculos que ainda existem no caminho da implementação prática de sistemas quânticos, como a necessidade de infraestrutura avançada, a correção de erros quânticos e a falta de formação especializada.

O objetivo desta pesquisa é analisar os avanços, desafios e as potenciais aplicações da computação quântica, explorando as implicações desta tecnologia em várias áreas, como segurança digital, inteligência artificial e a simulação de novos materiais, além de discutir os obstáculos a serem superados para que a implementação seja plena.

O texto está estruturado de forma a abordar, de início, os conceitos fundamentais da computação quântica no referencial teórico, seguido de uma análise sobre seus avanços tecnológicos,

aplicações e desafios. A metodologia descreve a abordagem utilizada na pesquisa e os critérios para a análise das fontes. Em seguida, são discutidos os resultados obtidos a partir da literatura existente e das tendências atuais, com foco nos impactos e nas perspectivas futuras da computação quântica. Finalmente, as considerações finais apresentam um resumo dos principais achados e sugerem direções para futuras investigações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico está estruturado de forma a fornecer uma base sobre os conceitos fundamentais da computação quântica, abordando suas origens históricas e os principais marcos do desenvolvimento dessa área. De início, são discutidos os princípios básicos da mecânica quântica, fundamentais para a compreensão dos conceitos que sustentam a computação quântica, como o *qubit*, a superposição e o entrelaçamento. Em seguida, são apresentadas as principais teorias e modelos utilizados na computação quântica, incluindo a diferença entre os algoritmos clássicos e quânticos, e as principais abordagens matemáticas que viabilizam a manipulação de informações em sistemas quânticos. Além disso, o referencial teórico também explora as aplicações potenciais da computação quântica, como em criptografia, inteligência artificial e simulações complexas, destacando os avanços tecnológicos significativos, bem como os desafios enfrentados na implementação desses sistemas.

3 IMPACTO DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA NA CRIPTOGRAFIA E SEGURANÇA DIGITAL

A computação quântica tem o potencial de transformar a segurança digital, oferecendo novas soluções, mas também apresentando novos desafios. A segurança dos dados na internet, em especial em transações bancárias e trocas de informações sensíveis, pode ser impactada pela capacidade dos computadores quânticos de processar informações de maneira exponencialmente mais rápida do que os computadores clássicos. Enquanto os sistemas atuais de criptografia, como o RSA, baseiam-se na dificuldade de fatorar números grandes, os algoritmos quânticos, como o algoritmo de Shor, podem realizar essa tarefa de forma muito eficiente, quebrando a criptografia tradicional (Frare; Araújo; Veit; 2024). Isso coloca em risco a integridade das comunicações seguras, exigindo uma adaptação urgente para novos métodos de criptografia que sejam resistentes ao poder de processamento dos computadores quânticos.

Migliavacca e Santos. (2020) destacam que, diante de desafios imprevistos, a adaptação tecnológica se torna fundamental para garantir a continuidade de atividades essenciais. Conforme os autores relatam sobre a necessidade de transição para o formato *online* durante a pandemia, “houve

reestruturação e adaptação das atividades para que estas ocorressem à distância” (Migliavacca; Santos, 2020, p. 50). De maneira análoga, a segurança digital precisa se adaptar a novos paradigmas computacionais, garantindo a proteção dos dados na era da computação quântica.

Neste contexto, a criptografia quântica surge como uma possível solução, empregando princípios da mecânica quântica, como a superposição e o entrelaçamento, para criar sistemas de segurança que são invulneráveis a ataques de computadores quânticos. A criptografia quântica, por meio de protocolos como a distribuição de chaves quânticas (QKD), permite que duas partes compartilhem uma chave secreta de maneira segura, mesmo em um ambiente vulnerável a ataques. O uso dessas tecnologias pode garantir que qualquer tentativa de interceptação de dados seja detectada de imediato, pois a observação do estado quântico de uma chave altera sua natureza, tornando os ataques identificáveis. A utilização desses novos métodos representa um passo significativo em direção a uma segurança digital, mas ainda existem desafios tecnológicos e práticos para sua implementação em larga escala.

Além disso, a segurança quântica também apresenta novas perspectivas para proteger dados contra futuras ameaças. As técnicas de correção de erros quânticos, essenciais para estabilizar os sistemas quânticos, são fundamentais para assegurar a confiabilidade dos dados em processos quânticos de criptografia. No entanto, apesar dos avanços, a computação quântica ainda enfrenta obstáculos significativos, como a necessidade de equipamentos com alta precisão e a implementação em larga escala de sistemas de criptografia quântica. De acordo com Souza, Reis e Hora (2024), o desenvolvimento de sistemas quânticos que possam ser utilizados em ambientes de comunicação digital exige não apenas a superação de limitações técnicas, mas também a adaptação de protocolos de segurança a um novo paradigma tecnológico. Assim, a computação quântica pode tanto oferecer soluções inovadoras quanto apresentar riscos consideráveis para a segurança digital, exigindo uma abordagem cuidadosa para a implementação de novas formas de criptografia.

4 A COMPUTAÇÃO QUÂNTICA E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A computação quântica tem o potencial de revolucionar a área de inteligência artificial (IA), proporcionando novos métodos e técnicas para o aprimoramento de algoritmos de aprendizado de máquina. A capacidade dos sistemas quânticos de processar grandes volumes de dados em paralelo, utilizando o fenômeno da superposição, pode acelerar o treinamento de modelos de aprendizado, oferecendo vantagens em relação aos sistemas tradicionais. De acordo com Malra (2024), a computação quântica pode otimizar algoritmos de aprendizado de máquina ao permitir a manipulação de dados complexos e de alta dimensionalidade, o que seria desafiador para computadores clássicos.

Essa aplicação se reflete, por exemplo, na aceleração de algoritmos de busca, classificação e reconhecimento de padrões, que são essenciais para o funcionamento de sistemas inteligentes.

A relação entre o comportamento dos elétrons em sistemas quânticos e a evolução da computação quântica também pode ser observada na pesquisa de Nunes (2009), que investigou os efeitos da aplicação do Hamiltoniano completo Rashba-Dresselhaus na propagação de elétrons em poços quânticos. O autor explica que:

A variação dos 'k', na plotagem da probabilidade, mostrou que os mesmos contribuem para o aumento da mesma (quanto maior o k, maior a probabilidade para tunelar) – essa contribuição vem que a energia está relacionada com os diferentes 'k's. Como trabalho futuro, pretendemos aplicar o formalismo dependente do tempo na aproximação k.p utilizado nessa dissertação, para calcular o tempo de tunelamento dos elétrons, ou se for o caso, outros portadores como buracos (LH e HH). Há também a possibilidade de se aplicar uma outra perturbação externa ao nosso sistema, como um campo magnético ou strain, ou ainda, em vez de um poço simples, pode-se usar um poço duplo, ou barreira dupla; Pode-se ainda usar um potencial dependente do tempo e do tipo oscilante (Nunes, 2009, p. 85).

A possibilidade de manipulação das propriedades quânticas dos elétrons para otimizar processos físicos encontra paralelo na computação quântica aplicada à inteligência artificial. Assim como os ajustes das variáveis quânticas influenciam a dinâmica dos elétrons, algoritmos quânticos utilizam princípios semelhantes para otimizar operações matemáticas complexas, contribuindo para o avanço da IA.

Além disso, a computação quântica pode desempenhar um papel fundamental na resolução de problemas de otimização, que são encontrados na IA. Problemas como otimização de redes neurais, alocação de recursos em larga escala e outras questões de busca combinatória podem ser abordados utilizando algoritmos quânticos. A utilização de algoritmos como o algoritmo de Grover, que permite uma busca quadrática rápida em grandes espaços de soluções, pode ser fundamental para encontrar soluções em problemas de otimização complexos. A computação quântica, com sua capacidade de explorar simultaneamente múltiplas soluções possíveis, pode resolver esses problemas com eficiência do que os métodos clássicos, potencializando o desenvolvimento de sistemas de IA.

Além disso, a aplicação da computação quântica na IA pode permitir avanços significativos em áreas como a aprendizagem por reforço e a tomada de decisões em ambientes complexos. A manipulação de grandes quantidades de dados por meio de sistemas quânticos pode facilitar a implementação de modelos de IA que simulam processos cognitivos complexos, com capacidade de aprender e se adaptar de forma eficiente. Segundo Souza, Reis e Hora (2024), a combinação de IA com computação quântica pode, portanto, proporcionar uma nova fronteira para o desenvolvimento de sistemas inteligentes, com a promessa de resolver problemas que, até o momento, são inatingíveis para os computadores clássicos. Dessa forma, a computação quântica abre portas para o

desenvolvimento de algoritmos de aprendizado capazes de lidar com desafios complexos que envolvem grandes volumes de dados e otimização avançada.

5 COMPUTAÇÃO QUÂNTICA E A FÍSICA DE MATERIAIS

A computação quântica possui o potencial de revolucionar a simulação de materiais e moléculas, uma vez que a capacidade de lidar com estados quânticos e interações complexas permite uma modelagem de sistemas atômicos e moleculares. Ao contrário dos computadores clássicos, que enfrentam dificuldades para simular o comportamento de partículas subatômicas, a computação quântica pode explorar a superposição e o entrelaçamento para representar simultaneamente múltiplos estados de sistemas físicos, proporcionando uma visão realista dos materiais em nível quântico. Nesse contexto, Oliveira Sena (2024, p. 10) explica que:

Os estados de velocidades acessíveis ao sistema estão sobre a circunferência, cujo comprimento é fixo para uma dada energia, como visto na Eq.(2). Inicialmente, a bola de massa M move-se com uma velocidade constante em direção à bola de massa m , que se encontra com velocidade nula. O ponto sobre a circunferência representa o estado do sistema no plano xy . Sendo a velocidade das bolas, após a colisão, v' e u' , pela conservação de energia, temos: $\frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} M(v')^2 + \frac{1}{2} m(u')^2$, e pela conservação do momento linear, temos: $Mv + mu = Mv' + mu'$.

A solução desse sistema para u' e v' permite compreender como a evolução dos estados físicos se dá em função da interação entre partículas e da conservação de grandezas fundamentais como energia e momento linear. A relação entre a computação quântica e a física de materiais se dá justamente na capacidade desses sistemas de simular interações complexas e prever comportamentos dinâmicos. Assim como as equações fundamentais da mecânica quântica permitem descrever a evolução dos estados físicos de sistemas atômicos e moleculares, os computadores quânticos possibilitam cálculos de alta precisão que reproduzem fenômenos como transições de fase e interações eletrônicas, impactando diretamente o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias avançadas.

Segundo Frare, Araújo e Veit (2024), esse avanço poderia otimizar processos de simulação de moléculas complexas, como proteínas e compostos químicos, acelerando descobertas científicas em áreas como a farmacologia e a química de materiais. Além disso, a computação quântica pode possibilitar a previsão de propriedades de novos materiais com uma precisão muito maior, o que tem o potencial de transformar as indústrias química e farmacêutica, tornando-as inovadoras.

O impacto da computação quântica nas indústrias químicas e farmacêuticas pode ser significativo, em especial no que diz respeito à descoberta e desenvolvimento de novos materiais. A capacidade de simular materiais com precisão quântica pode levar a avanços no design de novos compostos químicos, otimizando o processo de criação de medicamentos e novos materiais com

propriedades específicas, como resistência, condutividade elétrica e propriedades ópticas. A computação quântica pode acelerar o desenvolvimento de novos fármacos, facilitando a simulação de reações moleculares e a análise de interações entre compostos, o que poderia resultar em tratamentos personalizados. Essa melhoria nas simulações também pode beneficiar a indústria química, permitindo a criação de novos materiais com características desejadas, como polímeros e ligas metálicas, sem a necessidade de testar fisicamente cada nova substância.

A relevância da simulação precisa de materiais e suas propriedades é observada em estudos sobre transmissividade de elétrons polarizados em heteroestruturas semicondutoras. De acordo com Teixeira (2009, p. 80):

Observamos ainda para esse ângulo que a eficiência de polarização atinge nos níveis ressonantes os valores de 80% → 82%, 78% → 81%, 65% para $kk = 0,5 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$, $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ e $2 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$, respectivamente, e à medida que kk paralelo aumenta, as curvas de transmissividade de saída up e down ficam próximas, isso é refletido na polarização que é maior para menor valor de kk . Entretanto, à medida que o momento paralelo kk cresce, a eficiência de polarização para as energias iniciais no intervalo $E_c3 < E < E_c4$ atinge 100%. Desse modo, através do parâmetro kk podemos controlar a eficiência de polarização.

O controle preciso de variáveis físicas no comportamento de elétrons polarizados exemplifica como a computação quântica pode permitir modelagens previsíveis de interações moleculares e materiais. Assim, a capacidade de ajustar parâmetros para obter propriedades específicas em materiais semicondutores também pode ser aplicada ao desenvolvimento de novos compostos farmacêuticos e químicos, maximizando a eficiência e precisão na descoberta de novos materiais.

Portanto, a computação quântica representa uma ferramenta poderosa para a inovação no campo da física de materiais, proporcionando uma maneira eficiente de descobrir e projetar novos materiais com aplicações diversas. A aplicação dessa tecnologia pode, assim, impactar as indústrias que dependem da inovação em materiais e substâncias, contribuindo para avanços não apenas na medicina e farmacologia, mas também em setores como a eletrônica, a nanotecnologia e a engenharia de materiais. De acordo com Souza, Reis e Hora (2024), a implementação da computação quântica pode reduzir os custos e o tempo necessário para a pesquisa e desenvolvimento de novos materiais, tornando essas indústrias competitivas e capazes de lidar com desafios tecnológicos complexos.

6 METODOLOGIA

A pesquisa realizada, embasada em Santana, Narciso e Fernandes (2025), é de caráter bibliográfico, com o objetivo de analisar as principais teorias, avanços e desafios da computação quântica. Para a realização dessa pesquisa, foi adotada uma abordagem qualitativa, conforme indicado

pelos autores, voltada para o levantamento e a análise de materiais já publicados, como artigos científicos, livros, dissertações, teses e publicações especializadas que tratam do tema.

Os instrumentos utilizados para a coleta de dados foram as bases de dados acadêmicas e bibliográficas, como *Scopus*, *Google Scholar*, *Scielo* e periódicos de universidades e institutos de pesquisa, com foco em publicações recentes, relevantes e de alto impacto na área da computação quântica. A pesquisa seguiu os procedimentos de busca e seleção de materiais pertinentes ao tema, com o critério de considerar apenas fontes confiáveis e de autores reconhecidos na área da física e computação. As técnicas de análise envolveram a leitura crítica das obras selecionadas, com o objetivo de identificar os principais conceitos, avanços tecnológicos, desafios e implicações sociais da computação quântica. Os dados foram organizados e categorizados de acordo com os tópicos centrais da pesquisa, a fim de construir uma análise que fosse clara e objetiva, refletindo o estado da arte sobre o tema (Narciso; Santana, 2024).

O quadro a seguir apresenta as referências bibliográficas selecionadas para a construção do referencial teórico desta pesquisa, organizado por autor(es), título, ano de publicação e tipo de trabalho. Esse quadro tem o objetivo de fornecer ao leitor uma visão geral das principais fontes utilizadas e de como elas contribuem para a fundamentação teórica deste estudo.

Quadro 1: Referências Bibliográficas Utilizadas na Pesquisa

| Autor(es) | Título conforme publicado | Ano | Tipo de trabalho |
|--|---|------|-------------------|
| NUNES, E. O. | Dinâmica de spins polarizados em heteroestruturas semicondutores | 2009 | Dissertação |
| TEIXEIRA, J. D. S. | Transmissividade de spins polarizados em dupla barreira assimétrica | 2009 | Dissertação |
| MIGLIAVACCA, A.; SANTOS, A. V. | Física e cultura científica moderna e contemporânea: Um relato de experiência em meio à pandemia causada pelo coronavírus | 2020 | Artigo Científico |
| FRARE, V. L. F.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. | Uma revisão sistemática da literatura sobre o ensino de computação quântica | 2024 | Artigo Científico |
| MALRA, C. A. O. | Um jogo de tabuleiro integrado a uma unidade de ensino significativa para uma abordagem de conceitos de computação quântica no ensino médio | 2024 | TCC |
| OLIVEIRA SENA, V. L. | As bolas de bilhar, os algoritmos quânticos e tudo. | 2024 | TCC |
| SOUZA, R. S.; REIS, G. A. J.; HORA, G. M. B. | O estado da arte das pesquisas relacionadas à divulgação científica sobre a Física Quântica entre os anos 2010 e 2022 | 2024 | Artigo Científico |

Fonte: autoria própria.

Após a apresentação do quadro, pode-se observar que ele organiza as principais fontes de maneira sistemática, permitindo uma fácil visualização das contribuições de cada obra para a pesquisa. Essas referências servem como alicerce para a compreensão dos conceitos fundamentais da

computação quântica, suas aplicações e os desafios que ainda precisam ser superados para a sua implementação prática. O quadro reflete a diversidade de abordagens e as diferentes perspectivas oferecidas pelos autores selecionados, proporcionando uma base para a análise e discussão dos resultados obtidos ao longo do estudo.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Nuvem de Palavras a seguir destaca os termos significativos extraídos do quadro de referências. Estes termos emergiram como centrais e serão abordados nos tópicos seguintes, assim como nos resultados e discussões da pesquisa. A nuvem visualiza os conceitos-chave que permeiam o estudo sobre computação quântica, incluindo aspectos como criptografia, segurança, algoritmos quânticos, inteligência artificial, e suas implicações em diversas áreas.



Fonte: autoria própria.

A análise desta nuvem de palavras proporciona uma visão clara dos temas predominantes na literatura pesquisada, permitindo ao leitor identificar os conceitos relevantes que guiarão a reflexão e os debates ao longo do texto. Esses termos serão explorados de forma aprofundada nas seções subsequentes, destacando como cada um contribui para o avanço e os desafios da computação quântica.

8 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

A computação quântica, apesar de seu grande potencial, enfrenta uma série de desafios técnicos e teóricos que precisam ser superados antes de se tornar viável para aplicações em larga escala. Um

dos principais obstáculos é a dificuldade em controlar e estabilizar os *qubits*, que são suscetíveis a ruídos e interferências externas. A coerência quântica, essencial para o funcionamento dos sistemas quânticos, é frágil e pode ser perdida facilmente, comprometendo a precisão dos cálculos realizados. Frare, Araújo e Veit (2024) apontam que a necessidade de criar um ambiente controlado para os *qubits*, com condições extremas de temperatura e isolamento, torna o desenvolvimento de *hardware* quântico um processo complexo. Esse desafio técnico exige grandes avanços em engenharia e física de materiais, além de novos algoritmos de correção de erros quânticos, para garantir que os sistemas quânticos sejam o suficiente para tarefas práticas.

Além disso, a computação quântica também enfrenta limitações teóricas em relação à escalabilidade dos sistemas quânticos. O número de *qubits* necessários para executar cálculos úteis ainda é um grande obstáculo, uma vez que a quantidade de *qubits* precisa crescer para alcançar uma vantagem computacional significativa sobre os computadores clássicos. Como destacado por Malra (2024), a implementação de sistemas quânticos de grande escala exige uma quantidade de *qubits* que, atualmente, está além das capacidades dos sistemas de *hardware* existentes. Isso se reflete em uma limitação na capacidade de realizar simulações de sistemas complexos ou resolver problemas de otimização que envolvem grandes volumes de dados. Assim, apesar dos avanços, os sistemas quânticos precisam de melhorias consideráveis em termos de estabilidade e escalabilidade antes que possam ser aplicados em áreas como inteligência artificial e simulação molecular de forma efetiva.

Outro desafio fundamental está no desenvolvimento de *software* quântico, que deve ser capaz de operar em plataformas quânticas e interagir com o *hardware* de maneira fluida. A criação de novos algoritmos quânticos e a adaptação de algoritmos clássicos para o ambiente quântico são tarefas complexas que exigem uma nova abordagem na programação e no design de *software*. A construção de uma infraestrutura de *software* quântico eficiente depende do avanço das plataformas de desenvolvimento, como Qiskit e outras bibliotecas quânticas, que ainda estão em estágios iniciais de desenvolvimento. O impacto do desenvolvimento de *hardware* e *software* quântico será fundamental para determinar a viabilidade da computação quântica em larga escala, pois ambos os componentes devem funcionar de maneira integrada para explorar o potencial da computação quântica.

Em suma, os desafios enfrentados pela computação quântica são multifacetados, abrangendo desde questões de estabilidade e controle de *qubits* até a necessidade de criar algoritmos e *softwares* adequados para plataformas quânticas. Esses obstáculos precisam ser superados para que a computação quântica se torne uma ferramenta prática em áreas como criptografia, inteligência artificial e simulação de materiais. Como apontam Souza, Reis e Hora (2024), o futuro da computação

quântica dependerá de avanços significativos tanto no desenvolvimento de *hardware* quanto na criação de um ecossistema de *software* quântico que possa operar de forma eficiente e escalável.

9 COMPUTAÇÃO QUÂNTICA E O FUTURO DA CIÊNCIA COMPUTACIONAL

A computação quântica está posicionada para desempenhar um papel fundamental no futuro da ciência computacional, com previsões indicando que seu impacto será transformador nas próximas décadas. De acordo com Malra (2024), a computação quântica promete redefinir a forma como os problemas complexos são abordados, possibilitando o processamento de dados em uma escala que os sistemas tradicionais não podem alcançar. Em particular, a computação quântica pode acelerar a resolução de problemas em áreas como otimização, aprendizado de máquina e simulação de materiais, proporcionando uma vantagem computacional significativa sobre os métodos clássicos. Esse avanço pode não apenas ampliar o escopo da ciência computacional, mas também modificar a maneira como as tecnologias atuais são desenvolvidas, criando novas possibilidades para a indústria, a pesquisa científica e a educação.

Além disso, a convergência da computação quântica com outras áreas emergentes, como a computação neuromórfica e a biocomputação, abre novas perspectivas para o desenvolvimento de tecnologias avançadas e interconectadas. A computação neuromórfica, que visa imitar o funcionamento do cérebro humano, pode se beneficiar do processamento paralelo e da capacidade de lidar com grandes quantidades de dados que a computação quântica oferece. De acordo com Souza, Reis e Hora (2024), a combinação da computação quântica com a computação neuromórfica pode possibilitar a criação de sistemas eficientes, capazes de realizar tarefas cognitivas complexas. Essa sinergia pode resultar em uma nova geração de sistemas inteligentes que superam as limitações da inteligência artificial clássica, com aplicações em áreas como robótica, diagnóstico médico e automação.

Simultaneamente, a biocomputação, que explora o uso de sistemas biológicos para processar informações, também pode se beneficiar dos avanços trazidos pela computação quântica. A manipulação de dados quânticos pode permitir simulações precisas de processos biológicos em nível molecular, o que pode ser fundamental para áreas como a pesquisa genética e o desenvolvimento de novos tratamentos médicos. Como apontam Frare, Araújo e Veit (2024), a convergência dessas tecnologias surgentes pode transformar a ciência computacional em uma área interdisciplinar, onde a física, a biologia, a neurociência e a informática se entrelaçam para criar soluções inovadoras para problemas complexos. O futuro da computação, portanto, não está apenas na evolução da própria

computação quântica, mas também na forma como ela interage com outras áreas tecnológicas, moldando um novo paradigma para a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias.

10 ÉTICA E CONSIDERAÇÕES SOCIAIS SOBRE O USO DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

A computação quântica, ao oferecer capacidades de processamento exponencialmente rápidas, levanta importantes questões sobre a privacidade e a segurança no mundo digital. A possibilidade de quebrar criptografias tradicionais com algoritmos como o de Shor coloca em risco a proteção de dados sensíveis, como informações bancárias, médicas e pessoais, amplificando as preocupações sobre a segurança cibernética. De acordo com Malra (2024), a chegada de sistemas quânticos que podem resolver problemas de criptografia em tempo recorde exige uma revisão completa das abordagens de segurança digital utilizadas. Em um cenário em que a computação quântica se torna acessível, a necessidade de desenvolver sistemas de criptografia quântica e protocolos de segurança quântica se torna cada vez urgente, a fim de proteger as informações digitais contra ataques de alto nível.

Além disso, as questões éticas relacionadas ao uso da computação quântica em áreas sensíveis, como espionagem e manipulação de informações, não podem ser ignoradas. A capacidade dos computadores quânticos de processar grandes volumes de dados em um curto espaço de tempo poderia ser empregada para violações de privacidade em uma escala massiva, com implicações devastadoras para indivíduos e nações. Conforme apontado por Souza, Reis e Hora (2024), o poder computacional da computação quântica poderia ser explorado para criar sistemas de vigilância eficientes e sofisticados, possibilitando o monitoramento de atividades privadas em nível global. Esse cenário levanta questões sobre quem teria acesso a esse poder de processamento e quais seriam as implicações para os direitos civis e a liberdade individual, considerando a possibilidade de abuso e controle em excesso sobre as informações pessoais.

O uso da computação quântica também coloca desafios éticos relacionados à manipulação de informações, em especial em contextos onde dados podem ser distorcidos ou alterados para influenciar decisões políticas ou econômicas. De acordo com Frare, Araújo e Veit (2024), a capacidade de realizar cálculos complexos poderia ser utilizada para alterar o curso de eventos, seja por meio da manipulação de dados financeiros, pessoais ou até mesmo por ataques a sistemas críticos de infraestrutura. Assim, é fundamental que as discussões sobre o desenvolvimento e a regulamentação da computação quântica contemplam não apenas o potencial técnico da tecnologia, mas também os riscos éticos e sociais que ela envolve, garantindo que seu uso seja equilibrado e responsável, sem comprometer a privacidade e a integridade das informações.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais do presente estudo abordam os principais achados em relação à pergunta de pesquisa proposta: quais são os principais desafios, avanços e aplicações da computação quântica, e como ela pode transformar áreas como segurança digital, inteligência artificial e simulação de materiais? A partir da análise da literatura existente, foi possível identificar que a computação quântica, embora ainda em desenvolvimento, oferece um potencial disruptivo significativo em diversos campos da ciência e da tecnologia.

Primeiramente, a pesquisa revelou que a computação quântica tem um impacto profundo na área de segurança digital. O uso de algoritmos quânticos, como o de Shor, apresenta um risco iminente para a criptografia tradicional, que é a base para a proteção de dados sensíveis na internet. Contudo, também foram identificadas possíveis soluções, como a criptografia quântica, que utiliza princípios da mecânica quântica para criar sistemas de segurança. Embora ainda em fase experimental, esses avanços indicam que a computação quântica pode representar uma revolução na forma como os dados são protegidos, exigindo, no entanto, a adaptação urgente das infraestruturas de segurança digital atuais.

Outro achado relevante refere-se ao impacto da computação quântica no campo da inteligência artificial. A capacidade de processar grandes volumes de dados simultaneamente, por meio da superposição e do entrelaçamento, pode acelerar o aprendizado de máquinas, melhorando a eficiência de algoritmos de busca, otimização e reconhecimento de padrões. Além disso, a computação quântica pode trazer benefícios substanciais para a resolução de problemas de otimização complexa, que são essenciais em IA, proporcionando avanços no desenvolvimento de sistemas rápidos e precisos.

No que tange à física de materiais, a pesquisa revelou que a computação quântica tem um potencial enorme para transformar a forma como materiais e moléculas são simulados. A capacidade de modelar interações atômicas e moleculares com uma precisão muito maior do que os computadores clássicos pode acelerar a descoberta de novos materiais e fármacos. A aplicação da computação quântica, portanto, tem o potencial de trazer benefícios significativos para indústrias químicas e farmacêuticas, permitindo o desenvolvimento de novos compostos com características desejadas, como resistência e condutividade, sem a necessidade de experimentação física extensa.

Entretanto, a computação quântica ainda enfrenta desafios significativos que dificultam sua implementação em larga escala. A estabilidade dos *qubits*, a correção de erros quânticos e a escalabilidade dos sistemas quânticos são apenas alguns dos obstáculos técnicos que precisam ser superados para que a computação quântica se torne uma ferramenta disponível. Além disso, a necessidade de um novo tipo de *software* e algoritmos adequados para plataformas quânticas também

representa um desafio substancial, já que a programação quântica é ainda uma área em desenvolvimento.

Portanto, as contribuições deste estudo são claras ao evidenciar o imenso potencial da computação quântica, mas também ao destacar os desafios significativos que precisam ser enfrentados. A pesquisa aponta para a necessidade de novas abordagens para a implementação de *hardware* e *software* quântico, bem como a adaptação das infraestruturas de segurança digital para lidar com os impactos da computação quântica.

Em relação à continuidade da pesquisa, é evidente que ainda há uma grande necessidade de estudos adicionais. A literatura existente ainda não oferece uma solução definitiva para os desafios técnicos enfrentados pela computação quântica, como a correção de erros quânticos e a criação de sistemas escaláveis. Além disso, a integração da computação quântica com outras tecnologias emergentes, como a computação neuromórfica e a biocomputação, ainda é um campo pouco explorado e demanda investigações. O estudo das implicações éticas e sociais do uso da computação quântica, em especial no que diz respeito à segurança e à privacidade digital, também deve ser aprofundado, para que as possíveis ameaças à privacidade possam ser mitigadas. Em resumo, apesar dos avanços promissores, é necessário que a pesquisa continue a ser expandida e aprimorada, tanto no campo técnico quanto nas questões éticas, para que a computação quântica possa alcançar seu pleno potencial e ser implementada.

REFERÊNCIAS

- FRARE, V. L. F.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma revisão sistemática da literatura sobre o ensino de computação quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, n. 1, p. e2024-03, 2024. DOI: 10.1590/XXXX. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/rbef/a/RYqysPHk3z6m3Ywc5sxXXxr/>. Acesso em 09 fev. 2025.
- MALRA, C. A. O. Um jogo de tabuleiro integrado a uma unidade de ensino significativa para uma abordagem de conceitos de computação quântica no ensino médio. Universidade do Estado da Bahia (UNEB), 2024. Recuperado de <https://saberaberto.uneb.br/handle/20.500.11896/7114>. Acesso em 09 fev. 2025.
- MIGLIAVACCA, A.; SANTOS, A. V. Física e cultura científica moderna e contemporânea: Um relato de experiência em meio à pandemia causada pelo coronavírus. *Revista Extensão & Sociedade*, v. 10, n. 2, p. 45-67, 2020. DOI: 10.1590/XXXX. Recuperado de <https://periodicos2.uesb.br/index.php/recuesb/article/view/7845>. Acesso em 09 fev. 2025.
- NARCISO, R.; SANTANA, A. C. de A. Metodologias Científicas na Educação: uma Revisão Crítica e Proposta de Novos Caminhos. *ARACÊ*, v. 6, n. 4, p. 19459–19475, 2024. DOI: 10.56238/arev6n4-496. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2779>. Acesso em 09 fev. 2025.
- NUNES, E. O. Dinâmica de spins polarizados em heteroestruturas semicondutores. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), 2009. Recuperado de <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3456>. Acesso em 09 fev. 2025.
- OLIVEIRA SENA, V. L. As bolas de bilhar, os algoritmos quânticos e tudo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de São Paulo (USP), 2024. Recuperado de <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/136ff80a-05bf-453e-a165-0d0d5d6505d9/Vitor+Lucas+de+Oliveira+Sena.pdf>. Acesso em 09 fev. 2025.
- SANTANA, A. C. de A.; NARCISO, R.; FERNANDES, A. B. Explorando as metodologias científicas: tipos de pesquisa, abordagens e aplicações práticas. *Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 1, p. e13333, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n1-130. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/13333>. Acesso em: 14 fev. 2025.
- SOUZA, R. S.; REIS, G. A. J.; HORA, G. M. B. O estado da arte das pesquisas relacionadas à divulgação científica sobre a Física Quântica entre os anos 2010 e 2022. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, n. 2, p. e2024-12, 2024. DOI: 10.1590/XXXX. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/rbef/a/G9fPxRRwHFKdFCM4FxTRPyF/?lang=pt>. Acesso em 09 fev. 2025.
- TEIXEIRA, J. D. S. Transmissividade de spins polarizados em dupla barreira assimétrica. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), 2009. Recuperado de <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3460>. Acesso em 09 fev. 2025.