

COMPUTAÇÃO QUÂNTICA: A REVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

QUANTUM COMPUTING: THE INFORMATION TECHNOLOGY REVOLUTION – A LITERATURE REVIEW

Dener Martins dos Santos¹
Sonia de Oliveira Morcerf²
Zilmar Alcantara Junior²
Beatriz Campos Machado da Costa³
Maria Letícia da Costa Reis³
Rogério Clynton Ribeiro³

RESUMO

Ao passo que a sociedade evolui, as tecnologias acompanham tal evolução e com isso surgem novos campos de estudos para aprimorar conhecimentos, mas sobretudo para alavancar a evolução da ciência e revolucionar as indústrias para promover mais segurança para os cidadãos, maior precisão no desenvolvimento de produtos e otimizar a qualidade de dados e informações. Da segunda metade do século XX até os dias atuais a tecnologia da informação já evoluiu sistematicamente, mas estima-se que a Computação Clássica (computadores digitais) esteja próxima do seu limite de evolução e esse limite vem contribuindo para o investimento em um novo horizonte que trata a Computação Quântica (computadores quânticos) que desbrava um novo conceito de computação com *hardwares* baseados em Mecânica Quântica.

Palavras-Chaves: Computação Clássica. Computação Quântica. Mecânica Quântica.

ABSTRACT

As society evolves, technologies accompany this evolution and with it new fields of study arise to improve knowledge, but above all to leverage the evolution of science and revolutionize industries to promote more security for citizens, greater precision in product development and optimize the quality of data and information. From the second half of the 20th century to the present day, information technology has evolved systematically, but it is estimated that Classic Computing (digital computers) is close

¹ Docente – Curso Engenharia de Produção – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ e Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). E-mail: dener.martins@ubm.br.

² Docentes – Curso Engenharia de Produção – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mails: sonia.morcerf@gmail.com, zilmar.alcantara@ubm.br.

³ Discentes – Curso Engenharia de Produção – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mails: bicacosta_bm@hotmail.com, marialele.costa@hotmail.com, clyntonribeiror@gmail.com.

to its limit of evolution and this limit has been contributing to investment in a new horizon that deals with Quantum Computing (quantum computers) that pioneers a new concept of computing with hardware based on Quantum Mechanics.

Keywords: Classical Computing. Quantum Computing. Quantum Mechanics.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que a Computação Clássica está perto do seu limite de evolução e mesmo os supercomputadores da atualidade não são capazes de realizar cálculos com um certo nível de complexidade em tempo hábil e tendo em vista a necessidade de equipamentos que executem esses cálculos, grandes empresas do setor de tecnologia – já consolidadas no mercado – investem maciçamente na criação e evolução de computadores quânticos. Esses computadores serão dedicados a execução desses cálculos mais complexos que não é possível executar em computadores clássicos.

Em 2019 a *IBM* lançou o primeiro computador quântico, tornando a Computação Quântica uma realidade, foi o primeiro passo desse setor que mobiliza centenas de estudantes e cientistas em volta do mundo. Atualmente o investimento está concentrado na estabilização do cenário ideal para operacionalizar o computador quântico, pois, a temperatura para que haja a superposição dos *Qubits* – maior diferencial entre a Computação Clássica e a Computação Quântica – é de -273°C, além dos ruídos naturais das atividades dos *Qubits* que provocam instabilidades na geração dos dados.

DI LORENZO (2023) ressalta que, uma nova estratégia desenvolvida por pesquisadores pode aumentar a velocidade de processamento de dados, além de resolver os problemas existentes atualmente no modelo utilizado por computadores quânticos. Um estudo publicado na revista científica *Physical Review* sugere o uso de um *hardware* que utiliza um campo magnético simples para girar os *Qubits* do computador quântico.

MOZELLI (2023) enfatiza que, os pesquisadores da *IBM* em um novo estudo realizaram tarefa diferente, que interessa aos físicos. Eles usaram um processador quântico com 127 *Qubits* para simular o comportamento de 127 ímãs em escala atômica – pequenos o suficiente para serem governados pelas regras da Mecânica

Quântica – em campo magnético. Esse é um sistema simples conhecido como modelo de *Ising*, frequentemente usado para estudar o magnetismo. Este problema é muito complexo para uma resposta precisa ser calculada, mesmo nos maiores e mais rápidos supercomputadores. Entre outros autores que apresentam as evoluções das pesquisas nos últimos anos no que tange a Computação Quântica.

1.1 Objetivo Geral

Apresentar a principal diferença a nível de computação entre a Computação Clássica e a Computação Quântica.

1.2 Objetivos Específicos

Averiguar os principais setores que serão beneficiados pela Computação Quântica. Verificar os avanços desde a criação do primeiro computador quântico. Investigar o que determina a supremacia da Computação Quântica em relação à Computação Clássica.

1.3 Justificativa

Com a tecnologia da informação em constante evolução tanto para *software* quanto para *hardware*, é preciso atualizar os trabalhos científicos para que outros pesquisadores deem continuidade, sempre trazendo as informações pertinentes ao que tem sido evoluído e apresentado ao mundo.

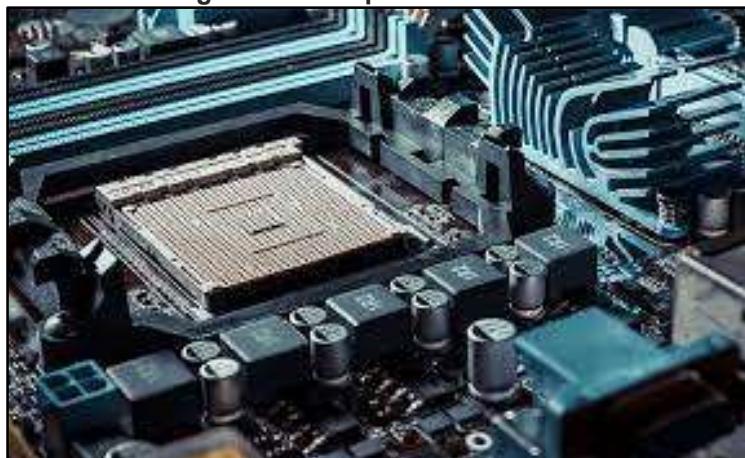
Esse artigo que se alicerça em revisão bibliográfica e apresenta as principais diferenças entre a Computação Clássica e a Computação Quântica, bem como os principais setores que serão beneficiados com essa revolução tecnológica que poderá ser um pilar para uma nova revolução industrial, servirá como ponto de partida para que outros estudantes enriqueçam a pesquisa.

2 ASPECTOS GERAIS DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

De acordo com VIANA (2023), a ideia da Computação Quântica remonta aos anos de 1980, quando foi proposta pelo físico *Paul Benioff* e outros cientistas. Computadores convencionais, *figura 1*, guardam e processam informação na forma de *Bits*, unidades minúsculas capazes de assumir apenas dois estados: 1 (“ligado”) e

0 (“desligado”). Já os computadores quânticos utilizam *Bits* quânticos, chamados *Qubits*, que tiram proveito das estranhas propriedades da matéria descritas pela Mecânica Quântica para realizar cálculos numa velocidade vertiginosa, muito longe do alcance dos computadores clássicos.

Figura 1 – Computador Clássico



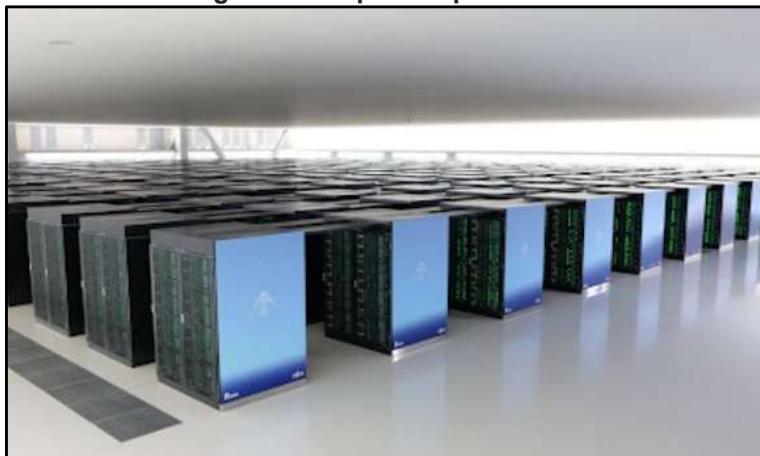
Fonte: Meupositivo (2023)

Segundo CHAGAS (2019), a Computação Quântica explora as vantagens da Superposição coerente de estados quânticos para alcançar o paralelismo quântico: simultaneamente, alcançar a mesma operação em diferentes valores de *Qubits*. Isso é possível apenas por causa da diferença fundamental entre *Qubits* clássicos: enquanto *Bits* clássicos podem estar apenas no estado 0 ou 1, os *Qubits* podem ser sobrepostos nesses estados 0 e 1. Quando há dois *Qubits*, os *Qubits* podem existir como uma combinação de todos os dois dígitos possíveis. Adicionando um terceiro *Qubit*, todos os três números de *Bits* possíveis podem ser combinados. O sistema cresceu exponencialmente. Assim, uma coleção de *Qubits* pode representar uma linha de números e os computadores quânticos, ao mesmo tempo, podem processar todas as entradas de dados simultaneamente.

PEIXOTO (2023) frisa que, a Computação Quântica tem o potencial de resolver problemas que não são solucionáveis sequer pelos supercomputadores, *figura 2*, mais poderosos do mundo. A Computação Clássica calcula com transistores usando *Bits* que calculam com uma série de 0 e 1. Os *Bits* podem conter apenas um dos dois valores. Enquanto na Computação Quântica, os *Qubits* – análogo quântico do *Bit* clássico – podem ser 0 e 1 ao mesmo tempo. A propriedade é conhecida como Superposição. Por meio do entrelaçamento, um par de *Qubits* torna-se conectado ou

vinculado. A mudança do estado de um *Qubit* ativa uma mudança simultânea e previsível no outro *Qubit*. Ao combinar as propriedades quânticas de Superposição e Emaranhamento, um computador quântico pode ser exponencialmente mais poderoso que os clássicos e realizar cálculos além do alcance das *CPUs* atuais e confiáveis.

Figura 2 – Supercomputadores



Fonte: Tudocelular (2020)

Para TEDESCO (2023), a Computação Quântica é uma área recente da física e da computação que utiliza destes princípios da Física Quântica no processamento de informações de maneira diferente da Computação Clássica. Os computadores quânticos, figura 3, usam *Qubits*, que são unidades de informação quântica, em vez de *Bits*, que são unidades de informação clássicas. Enquanto um *Bit* só pode assumir um valor de 0 ou 1, um *Qubit* pode existir, simultaneamente, em um estado quântico de 0 e 1, conhecido como Superposição. Isso permite que os computadores quânticos realizem vários cálculos ao mesmo tempo, é o que os torna mais rápidos e eficientes em certas tarefas. A Computação Quântica tem muitas aplicações potenciais, incluindo a criptografia quântica, a simulação quântica, a inteligência artificial quântica, algoritmos de busca e otimização e o processamento de grandes conjuntos de dados.

Figura 3 – Computador Quântico



Fonte: Olhardigital (2020)

2.1 Mecânica Quântica

Segundo CAVALCANTE (2021), Mecânica Quântica é a parte da física que explica o mundo em escala atômica e subatômica, ou seja, as partículas que formam as moléculas e o átomo, assim como as interações entre elas. Entre essas partículas estão o elétron, próton, nêutron, quarks, entre outros. Embora descreva como as partículas funcionam, a Mecânica Quântica também explica alguns fenômenos em grande escala. Sem a Mecânica Quântica, não seria possível saber como os átomos se fundem para formar novos elementos, ou como eles podem liberar uma quantidade estupenda de energia quando os são "quebrados". Não seria possível saber também como exatamente a radiação ionizante interage com os átomos e nas moléculas, tampouco computadores e smartphones.

2.2 Dos Bits aos Q-bits (Qubits)

De acordo com MELO e AOLITA (2019), nos computadores de uso cotidiano – ditos clássicos –, a informação é armazenada e processada em *Bits* – a palavra *Bit* vem da sigla em inglês para dígito binário ([bi]nary digi[tl]). Um *Bit* é uma variável numérica que pode assumir um de dois valores: 0 ou 1. Na prática, um *Bit* pode assumir várias formas. Em um transistor (componente eletrônico que é a base dos computadores clássicos), voltagens abaixo de 0,8 volt são usadas para representar *Bits* com valor 0, enquanto aquelas acima de 2,2 volts definem o valor 1 – em tempo: voltagens entre 0,8 e 2,2 não são usadas, para evitar erros na determinação dos *Bits*. Como esses valores estão associados a diferentes voltagens macroscópicas – podem

ser medidas com um voltímetro usual –, um *Bit* assume ora o valor 0, ora o valor 1. Mas, se para processar informação, for usado sistemas na escala quântica (partículas atômicas ou subatômicas), terá mais possibilidades. Uma das propriedades mais intrigantes de partículas quânticas é que elas podem existir naquilo que os físicos denominam Superposição. Por exemplo, em um dado instante, um elétron pode estar em uma Superposição de dois pontos espaciais – ou seja, o elétron não está em um ponto, nem no outro; ele não tem posição bem definida. A versão quântica do *Bit*, o chamado *Q-bit* (*Qubit*), pode, então, ser preparado em uma Superposição dos valores 0 e 1. Quando nesse estado, o valor do *Q-bit* (*Qubit*) não é bem definido. Ele apenas vai assumir o valor 0 ou 1, probabilisticamente, quando for realizada uma medição. Um supercondutor é um tipo de metal que, quando resfriado a temperaturas baixíssimas (muito próximas do zero absoluto, ou seja, de 273 graus Celsius negativos), conduz corrente elétrica sem dissipar energia. Nessas condições extremas, efeitos quânticos são possíveis, e pode ser gerada as tais Superposições dos valores 0 e 1. Num arranjo experimental, a definição dos valores 0 e 1 depende do número de pares de elétrons em uma parte específica do circuito, chamada ilha supercondutora. Tem-se assim um *Q-bit* (*Qubit*) supercondutor.

3 ANÁLISE DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

Segundo IBM (2023), um supercomputador pode ser bem-sucedido em tarefas difíceis, como navegar um banco de dados de sequenciação de proteínas, mas terá dificuldade em descobrir, nesses dados, os padrões sutis que determinam o comportamento dessas proteínas. Proteínas são cadeias longas de aminoácidos que se tornam máquinas biológicas úteis quando se dobram em formas complexas. Descobrir como ocorrerá a dobra das proteínas é uma questão com implicações importantes para a biologia e a medicina. Um supercomputador tradicional pode tentar dobrar uma proteína por meio de força bruta, aproveitando seus muitos processadores para verificar todas as formas possíveis de organizar a cadeia química antes de chegar a uma resposta. À medida que as sequências de proteínas ficam mais longas e complexas, o supercomputador começa a estagnar. Uma cadeia de 100 aminoácidos poderia, em teoria, dobrar-se de trilhões de diferentes maneiras. Nenhum computador possui memória para lidar com todas as combinações individuais

possíveis. Algoritmos quânticos oferecem uma nova abordagem para esses problemas complexos, criando espaços multidimensionais onde surgem os padrões que ligam os pontos de dados individuais. No caso de um problema de dobramento de proteínas, esse padrão pode ser a combinação de dobras que requer menos energia para acontecer. Essa combinação de dobras é a solução para o problema. Os computadores clássicos não são capazes de criar esses espaços computacionais, portanto, não conseguem encontrar esses padrões. No caso das proteínas, já existem algoritmos quânticos em estágio inicial capazes de encontrar os padrões de dobra de maneiras completamente novas e mais eficientes, sem os procedimentos trabalhosos de verificação dos computadores tradicionais. À medida que o *hardware* quântico expande em escala e esses algoritmos evoluem, eles são capazes de solucionar problemas relacionados à dobra de proteínas complexos demais para qualquer supercomputador.

Para DI LORENZO (2023), uma nova estratégia desenvolvida por pesquisadores pode aumentar a velocidade de processamento de dados, além de resolver os problemas existentes atualmente no modelo utilizado por computadores quânticos. Um estudo publicado na revista científica *Physical Review* sugere o uso de um *hardware* que utiliza um campo magnético simples para girar os *Qubits* do computador quântico.

Segundo SANTOS (2023), em um novo estudo realizado na Universidade de Missouri, nos Estados Unidos, cientistas conseguiram criar um novo tipo de metamaterial 4D, *figura 4*, que pode ajudar a evoluir o futuro da computação quântica. Em um estudo publicado na revista científica *Science Advances*, os pesquisadores apontam que um dos maiores benefícios do desenvolvimento do metamaterial 4D, baseado em uma quarta dimensão sintética, será no setor da Computação e da Mecânica Quântica. O material é capaz de controlar as ondas de energia na superfície de uma substância sólida, um efeito conhecido como ondas de superfícies mecânicas.

Figura 4 – Metamaterial 4D



Fonte: Terrarara (2023)

De acordo com PEIXOTO (2023), empresas estão desenvolvendo os sistemas, as pessoas estão sendo capacitadas e os casos de uso estão sendo explorados por diversas indústrias. Isso é algo complexo e empolgante, mas, de forma simples, a Computação Quântica é apenas um acelerador na nova onda de transformação tecnológica. Os sistemas de amanhã incluirão aceleradores quânticos integrados a muitos dos equipamentos clássicos como os que existem hoje. Fabricantes de *hardware* quântico e de sistemas clássicos estão trabalhando em conjunto para desenvolver sistemas de computação com inspiração quântica, dedicados a resolver problemas de Computação de Alto Desempenho (*HPC – High Performance Computing*). A *Dell Technologies*, por exemplo, construiu um sistema quântico-clássico híbrido que permite que os clientes experimentem a computação quântico-clássica desde a simulação até a computação híbrida real. Tudo isso suportado por uma unidade de processamento quântico (*QPU – Quantum Processing Unit*). Com essa plataforma, cargas de trabalho de simulação quântica e clássica podem ser executadas no local, enquanto cargas de trabalho quânticas, como modelagem de moléculas maiores e mais complexas para o desenvolvimento de medicamentos, podem ser executadas de forma remota por meio de seu *hardware* modificado. Além disso, o tempo de espera para execução de cada circuito quântico foi significativamente reduzido graças a uma *API* (*Application Programming Interface*) dedicada. Esta combinação permitiu que a *QPU* resolvesse problemas mais complexos, com uma melhor correção de erros e em menos tempo.

REDAÇÃO (2023) frisa que, a *IBM* anunciou um novo avanço, publicado na capa da revista científica *Nature*, demonstrando pela primeira vez que os computadores quânticos podem produzir resultados precisos em uma escala de mais de 100 *Qubits*, indo além das principais abordagens clássicas. Um dos objetivos finais da computação quântica é simular componentes de materiais que os computadores clássicos nunca simularam com eficiência. Ser capaz de modelá-los é um passo crucial para a capacidade de enfrentar desafios como projetar fertilizantes mais eficientes, construir baterias melhores e criar novos medicamentos. Mas os sistemas quânticos de hoje são inherentemente ruidosos e produzem um número significativo de erros que prejudicam o desempenho. Isso se deve à natureza frágil dos *Bits* quânticos ou *Qubits* e às perturbações de seu ambiente.

MELO e AOLITA (2019) ressaltam que, supremacia quântica – termo cunhado pelo pesquisador norte-americano *John Preskill*, do Instituto de Tecnologia da Califórnia (EUA) – é a fase na qual computadores quânticos – isto é, processadores programáveis que usam lógica quântica – são capazes de resolver problemas matemáticos que não podem ser resolvidos com computadores clássicos, ou seja, esses que são usados diariamente. Para atingir tal etapa, os autores do artigo construíram um protótipo de computador quântico e o usaram para resolver, em 200 segundos, um problema que, segundo estimativas dos próprios pesquisadores, custaria ao mais potente supercomputador da atualidade cerca de 10 milênios.

MOZELLI (2023) enfatiza que, os pesquisadores da *IBM* em um novo estudo realizaram tarefa diferente, que interessa aos físicos. Eles usaram um processador quântico com 127 *Qubits* para simular o comportamento de 127 ímãs em escala atômica – pequenos o suficiente para serem governados pelas regras da Mecânica Quântica – em campo magnético. Esse é um sistema simples conhecido como modelo de *Ising*, frequentemente usado para estudar o magnetismo. Este problema é muito complexo para uma resposta precisa ser calculada, mesmo nos maiores e mais rápidos supercomputadores. No computador quântico, o cálculo levou menos de um milésimo de segundo para ser concluído. Cada cálculo quântico não era confiável – as flutuações do ruído quântico inevitavelmente se intrometem e induzem a erros – mas cada cálculo era rápido, portanto podia ser executado repetidamente.

Para IBERDROLA (2023), a segurança informática, a biomedicina, o desenvolvimento de novos materiais e a economia, são alguns dos âmbitos que poderiam viver uma grande revolução graças aos progressos da Computação Quântica, bem como finanças, saúde, mobilidade e transporte.

FRACKIEWICZ (2023) frisa que, a convergência de análise de *big data*, figura 5, e Computação Quântica tem o potencial de revolucionar a forma como se aborda a análise de dados. Ao combinar os poderosos recursos de ambas as tecnologias, podem ser revelados *insights* que antes eram impossíveis de obter. A análise de *big data* permitiu obter *insights* de grandes conjuntos de dados usando algoritmos sofisticados e recursos avançados de computação. A Computação Quântica, por outro lado, usa *Qubits* para resolver cálculos complexos com mais rapidez e precisão do que a Computação Clássica. Quando combinadas, essas duas tecnologias oferecem um nível sem precedentes de poder de computação que pode ser usado para lidar com algumas das tarefas de análise de dados mais desafiadoras. Uma das aplicações mais promissoras da combinação de análise de *big data* e Computação Quântica é o aprendizado de máquina. Algoritmos de aprendizado de máquina são usados para identificar padrões em grandes conjuntos de dados e fazer previsões sobre resultados futuros. Ao aproveitar o poder da Computação Quântica, os algoritmos de aprendizado de máquina podem ser mais precisos e rápidos do que nunca. Além disso, os computadores quânticos podem ser usados para analisar grandes conjuntos de dados mais rapidamente, permitindo que as empresas tomem melhores decisões em tempo real.

Figura 5 – Big Data



Fonte: Fia (2022)

FRACKIEWICZ (2023) frisa também que, além do aprendizado de máquina, a combinação de análise de *big data* e Computação Quântica também pode ser usada para melhorar a segurança cibernética. Ao aproveitar o poder da Computação Quântica, as organizações podem detectar e responder a ameaças cibernéticas com mais eficiência. Além disso, os computadores quânticos podem ser usados para quebrar algoritmos de criptografia complexos e descobrir vulnerabilidades ocultas nas redes. Por fim, a combinação de análise de *big data* e Computação Quântica tem o potencial de revolucionar o setor de saúde. Aproveitando o poder da Computação Quântica, as organizações de saúde podem analisar grandes conjuntos de dados com mais rapidez e precisão, permitindo-lhes tomar melhores decisões sobre o atendimento ao paciente. Além disso, os computadores quânticos podem ser usados para criar modelos preditivos mais precisos para diagnóstico e tratamento de doenças. À medida que os recursos de análise de *big data* e Computação Quântica continuam a se expandir, as aplicações potenciais para essa poderosa combinação são ilimitadas. Ao combinar o poder de ambas as tecnologias, empresas e organizações podem obter informações valiosas que antes eram impossíveis de obter.

Segundo REDAÇÃO (2022), nem zero, nem um. Na Computação Quântica, uma informação pode existir nos dois estados simultaneamente, o que faz uma tremenda diferença no tipo de resultado e na habilidade do computador de processar gigantescos volumes de cálculos em um tempo muito menor que o que seria utilizado na Computação Clássica. Ou que virtualmente nem poderia ser utilizado, porque levaria centenas de anos para ser processado. No mercado financeiro, a Computação Quântica pode apoiar a otimização de portfólio de carteira de investimentos, análise de risco, precificarão de ativos, derivativos e outras atividades de monitoramento e previsão que se beneficiam da habilidade de executar muitos cálculos, muito rápido.

MACEDO (2021) ressalta que, a tendência de digitalização em todos os setores está se acelerando cada vez mais. Previsões, como a da consultoria de dados *Statista*, sugerem que nos próximos dez anos haverá 50 bilhões de dispositivos conectados, analisando e gerando informações, dando origem ao *boom* da Internet das Coisas (*IoT*). O grande desafio que se enfrentará será aproveitar os dados gerados para colocá-los a serviço do desenvolvimento dos negócios, mas essas enormes quantidades de informações são quase impossíveis de serem analisadas com os

computadores clássicos. É aqui que reside a importância da Computação Quântica, figura 6, para o futuro da Indústria 4.0.

Figura 6 – Centro de Computação Quântica



Fonte: TechNet (2023)

4 CONCLUSÃO

Os computadores quânticos estão sendo desenvolvidos e evoluídos para ocuparem lugar de destaque no que tange a realização de cálculos complexos impossíveis de serem realizados pelos supercomputadores clássicos, não serão ferramentas de uso popular ou cotidiano como os computadores pessoais. São equipamentos destinados no âmbito corporativo, científico e tecnológico.

Embora seja observado uma disputa comercial pelo desenvolvimento e aprimoramento do computador quântico, a sociedade será amplamente beneficiada através dos mecanismos desenvolvidos com o auxílio da Computação Quântica, em setores tão relevantes como o da saúde, por exemplo. Tal evolução apresentará um impacto muito positivo também em mobilidade, transporte e cibersegurança, entre outros.

Para atender as expectativas dessa tendência, profissionais precisarão de qualificação e capacitação para lidar com as tecnologias quânticas, tanto de *software* quanto de *hardware* que envolvem setores que até então não faziam parte da computação, como a Mecânica Quântica que é um dos principais alicerces dessa vertente da tecnologia da informação.

Este artigo cumpre o propósito do seu objetivo principal que foi apresentar as peculiaridades no entorno da Computação Quântica, focado em explicitar as principais diferenças entre a Computação Clássica e a Computação Quântica. A sinergia entre

técnicos, engenheiros, cientistas e estudantes será primordial para alavancar a evolução desse segmento que promete revolucionar a tecnologia da informação.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A COMPUTAÇÃO quântica e os supercomputadores que revolucionarão a tecnologia. **Iberdrola**, 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/o-que-e-computacao-quantica>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

AVANÇO da quarta dimensão: novo metamaterial controla ondas de energia. **Terrarara**, 2023. Disponível em: <https://terrara.com.br/fisica-de-materiais/avanco-da-quarta-dimensao-novo-metamaterial-controla-ondas-de-energia/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

BELEZA, Alfredo. IBM vai construir centro de dados de computação quântica na Europa. **Techenet**, 2023. Disponível em: <https://www.techenet.com/2023/06/ibm-centro-computacao-quantica-europa/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

BIG Data: como funciona, exemplos, importância e desafios. **Fia**, 2022. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/big-data/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

CAVALCANTE, Daniele. O que é a física quântica e mecânica quântica? **Canaltech**, 2021. Disponível em: <https://canaltech.com.br/ciencia/o-que-e-fisica-quantica-e-mecanica-quantica-187154/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

CHAGAS, Edgar T. de O.. Inteligência artificial, computação quântica, robótica e blockchain. Qual a realidade destas tecnologias em tempos atuais e futuros? **Nucleodoconhecimento**, 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/administracao/inteligencia-artificial>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

COMPUTAÇÃO quântica é a próxima fronteira da inovação no setor financeiro? **Febraban**, 2022. Disponível em: <https://febrabantech.febraban.org.br/temas/inovacao/computacao-quantica-e-a-próxima-fronteira-da-inovacao-no-setor-financeiro>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

DI LORENZO, Alessandro. Novo modelo promete revolucionar computação quântica; entenda. **Olhardigital**, 2023. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/08/21/ciencia-e-espaco/novo-modelo-promete-revolucionar-computacao-quantica-entenda/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

FRACKIEWICZ, Marcin. Análise de big data e computação quântica: uma sinergia? **Ts2**, 2023. Disponível em: <https://ts2.space/pt/analise-de-big-data-e-computacao-quantica-uma-sinergia/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

IBM. O que é computação quântica? **IBM**, 2023. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/quantum-computing>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

MACEDO, Manuel. Saiba como a computação quântica vai influenciar o futuro da Indústria 4.0. **Exame**, 2021. Disponível em: <https://exame.com/bussola/saiba-como-a->

computacao-quantica-vai-influenciar-o-futuro-da-industria-4-0/. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

MELO, Fernando de; AOLITA, Leandro. Supremacia quântica: A era dos computadores quânticos chegou. **Cienciahoje**, 2019. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/supremacia-quantica-a-era-dos-computadores-quanticos-chegou/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

MOZELLI, Rodrigo. IBM: avanço da computação quântica inicia nova era. **Olhardigital**, 2023. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/06/14/pro/ibm-avanco-da-computacao-quantica-inicia-nova-era/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

PEIXOTO, Raymundo. Computação quântica + clássica: ambiente híbrido surpreenderia até na ficção científica. **Itforum**, 2023. Disponível em: <https://itforum.com.br/noticias/computacao-quantica-ficcao-cientifica/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

REDAÇÃO. IBM anuncia novos avanços em computação quântica. **Tiinside**, 2023. Disponível em: <https://tiinside.com.br/19/06/2023/ibm-anuncia-novos-avancos-em-computacao-quantica/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

SANTOS, Lucas V.. Metamaterial 4D pode mudar futuro da computação quântica. **Tecmundo**, 2023. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/267330-metamaterial-4d-mudar-futuro-computacao-quantica.htm>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

TEDESCO, Daniel G.. Computação quântica, uma revolução tecnológica. **Brasilpaisdigital**, 2023. Disponível em: <https://brasilpaisdigital.com.br/computacao-quantica-uma-revolucao-tecnologica/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

VIANA, Marcelo. Folha: Viana fala sobre avanços da computação quântica. **Impa**, 2023. Disponível em: <https://impa.br/noticias/folha-viana-fala-sobre-avancos-da-computacao-quantica/>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.