



**UNICESUMAR – UNIVERSIDADE CESUMAR**  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E  
AGRÁRIAS CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
SOFTWARE

## **MAPEAMENTO SISTEMÁTICO EM COMPUTAÇÃO QUÂNTICA**

**GABRIEL FELIPE PRADO RIBEIRO**

Maringá - PR  
2021

GABRIEL FELIPE PRADO RIBEIRO

## **MAPEAMENTO SISTEMÁTICO EM COMPUTAÇÃO QUÂNTICA**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software da Universidade Cesumar - UNICESUMAR como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Me. Maurílio Martins Campano Junior

Maringá - PR  
2021

## RESUMO

Com o passar dos anos, as tecnologias evoluem a uma velocidade inimaginável. Algumas delas são essenciais e os computadores estão chegando a um limite físico de capacidade de processamento. Em vista desse limite, a computação quântica vem ganhando uma enorme força em pesquisa, desenvolvimento e utilização. Suas aplicações não substituirão os atuais computadores, mas auxiliarão na capacidade de processamento. Dentre as áreas de uso, estão a evolução genética, criptografia, redes neurais altamente complexas e pesquisas acadêmicas. Seguindo essas premissas, este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento sistemático em computação quântica, analisando e obtendo dados concretos a respeito. Os resultados encontrados demonstram que a computação quântica será uma evolução gigantesca para a realidade tecnológica devido à sua arquitetura, linguagem de programação e alta capacidade de solução de problemas.

**Palavras-chaves:** CQs, capacidade de processamento, computação quântica.

## ABSTRACT

Over the years, technologies evolve at unimaginable speed. Some of them are essential and computers are reaching the physical limit of processing power. In view of this limit, quantum computing is gaining enormous strength in research, development and use. Its applications will not replace current computers, but will help with processing power. Areas of use include genetic evolution, cryptography, highly complex neural networks, and academic research. Following these premises, this work aims to carry out a systematic survey in quantum computing, analyzing and obtaining concrete data about it. The results found show that quantum computing will be a gigantic evolution for the technological reality due to its architecture, programming language and high problem-solving capacity.

**Keywords:** QCs, processing power, quantum computing.

## 1. INTRODUÇÃO

A área da computação vem se preocupando cada vez mais com as limitações da atual arquitetura de *bits*. Com a evolução dos dados, servidores, serviços *cloud*, etc, os atuais supercomputadores estão chegando ao seu limite de processamento (SINGH, 2016), através disso os pesquisadores e empresas de hardware começaram a olhar outras opções viáveis para substituir os bits comuns. Uma dessas empresas é a IBM que vem estudando a computação quântica desde os anos 2000 e segundo ela, essa nova arquitetura de *qubits* permitirá ter um poder de processamento nunca antes visto, possibilitando que esses novos computadores assumam o lugar dos atuais nos locais onde eles falham (GAMBETTA, 2020).

O intuito desta pesquisa é aplicar um mapeamento sistemático para coletar, analisar e obter uma série de respostas para as perguntas levantadas na Seção 3 e também um entendimento sobre computação quântica.

O restante deste trabalho está dividido como segue: a Seção 2 apresenta uma fundamentação teórica sobre o tema, a Seção 3 apresenta as características do mapeamento, uma *string* de busca que será utilizada para encontrar as referências necessárias para responder às questões apresentadas abaixo. Os locais no qual serão aplicadas as *string* e os critérios de inclusão e exclusão serão aplicados nos resultados dos locais de pesquisa, enquanto a Seção 4 apresenta os resultados obtidos e uma análise.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O método de pesquisa que será apresentado é o mapeamento sistemático que visa identificar, avaliar e interpretar as pesquisas disponíveis relevantes a uma série de questões de pesquisa particular (DERMEVAL, 2017). A razão para realizar o mapeamento sistemático é a possibilidade de ter um grande levantamento, análise e manipulação de dados relevantes envolvendo o tema escolhido.

O desenvolvimento de computadores quânticos, embora ainda seja uma área que está em estudo e que ainda apresenta muitos desafios, tem se mostrado promissora para muitas áreas de atuação. Espera-se que os computadores quânticos tenham um poder de processamento muito além do maior supercomputador que existe atualmente. Através disso, foram realizados muitos avanços em áreas como mecânica quântica, pesquisas acadêmicas, algoritmos genéticos e até mesmo na segurança e auditoria de sistemas (ARAÚJO, 2008).

### 3. METODOLOGIA

O objetivo desta pesquisa é possibilitar o entendimento de um novo ecossistema, arquitetura e tecnologias envolvendo a computação quântica, sobre os quais busca-se um levantamento de novas informações, documentos e ferramentas que descrevem o funcionamento e estrutura do mesmo. Seguindo essa analogia restringiu-se o escopo de estudo para uma série de questões relacionadas ao tema especificado:

- **Questão 01:** Como pode ser descrita a arquitetura de sistemas computacionais quânticos?
- **Questão 02:** Quais são as linguagens de programação que podem ser usadas para extrair o máximo de desempenho dos computadores quânticos?
- **Questão 03:** Quais são as aplicações e áreas que utilizam a computação quântica?
- **Questão 04:** Qual o impacto da computação quântica na resolução dos problemas atuais?

Para que seja possível responder às questões apresentadas acima foi criada uma *string* de busca para filtrar as referências encontradas, segue:

E1 AND E2, na qual E1 é descrito como: (computação quântica OR *quantum computing* OR arquitetura quântica OR *quantum architecture* OR computador quântico OR *qubit*) e E2 é descrito como: (*cases* OR casos OR problemas causados OR *problems* OR desafios OR *challenges* OR aplicações OR *applications* OR linguagens de programação OR *programming languages*)

A pesquisa com a string de busca foi realizada nas seguintes bases de dados:

- Google Scholar
- IEEE Xplore
- Scielo

Além da definição da string de busca, foram definidos critérios de inclusão e exclusão sobre os resultados encontrados na busca. Entre os critérios de inclusão estão o artigo publicado entre os anos de 2007 a 2021, o artigo deve ser voltado a pesquisas sobre computação quântica e suas extensões, o artigo deve ser uma versão completa e o artigo deve satisfazer a *string* de busca, já os critérios de exclusão são, se o artigo está repetido, se o conteúdo do artigo é referente ao tema, mas a sua abordagem ocorre de forma informal/sucinta, se o artigo disponível não está em sua forma completa e por fim se o artigo não atende ao tema, tal como mostra na Tabela 1.

**Tabela 1:** Critérios de Inclusão e Exclusão.

INCLUSÃO	EXCLUSÃO
1 - O artigo deve ter sido publicado entre os anos de 2007 a 2021	1 - Se o artigo está repetido
2 - O artigo deve ser voltado a pesquisas sobre computação quântica e suas extensões	2 - O Conteúdo do artigo é referente ao tema, mas a sua abordagem ocorre de forma informal/sucinta
3 - O artigo deve ser uma versão completa	3 - O artigo disponível não está na sua forma completa.
4 - O artigo deve satisfazer a <i>string</i> de busca	4 - O artigo não atende ao tema.

A metodologia de pesquisa utilizada tem como objetivo analisar detalhadamente sobre a computação quântica e suas extensões. E, as questões apresentadas são aplicadas com critérios necessários para se chegar a uma resposta que possibilite o total entendimento do tema.

Através da metodologia apresentada acima, é possível realizar o levantamento do referencial teórico que será utilizado na construção da pesquisa. Segue a tabela apresentando os resultados obtidos, com os artigos filtrados com os critérios apresentados na Tabela 1.

**Tabela 2:** Estudos Primários Recuperados por Base de Busca.

Base	Qtd.	Descartados (Seleção Preliminar)	Seleção Preliminar	Descartados (Seleção Final)	Seleção Final
Google Scholar	80	28	52	35	17
IEEE Xplore	50	22	28	24	4
Scielo	20	5	15	10	5
Total:	150	55	95	69	26

Como pode ser observado na Tabela 2, no primeiro passo, foi aplicada a string de busca em todas as bases de pesquisa apresentadas na Seção 3, como resultado obteve-se um total de 150 artigos. Se o título ou o resumo tiverem algum tipo de referência ao tema e se o artigo relacionar com os critérios de inclusão, esse seria selecionado para uma análise detalhada. Na classificação final, os artigos restantes foram validados de acordo com os

critérios de inclusão e exclusão. Como resultado, alguns artigos foram descartados ou associados a um critério.

#### 4. RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as respostas para as questões relacionadas a metodologia apresentada acima na Seção 3.

**Questão 1:** Como pode ser descrita a arquitetura de sistemas computacionais quânticos? A computação quântica se baseia em certas propriedades da mecânica quântica para permitir a realização das tarefas computacionais de forma bastante eficiente. Para tirar proveito dessa eficácia, é necessário criar algoritmos específicos para computadores quânticos. A criação de algoritmos quânticos em relação aos clássicos se destaca pela grande dificuldade em tirar proveito das propriedades inerentes da mecânica quântica, ou seja, levando como base o cenário computacional atual para a criação e utilização de ferramentas de grande importância (POZZOBOM, 2021).

Assim como na computação clássica, é necessário ter um ambiente capaz de reproduzir as condições do desenvolvimento de novas ferramentas. Para que isso ocorra é necessário uma arquitetura baseada em *qubits* que simboliza o conceito dos *bits* que podem assumir o valor 0 ou 1. O *qubit* também pode assumir os mesmos valores, porém com estados diferentes, podendo assumir qualquer sobreposição de zero e um simultaneamente (FIGUEIREDO, 2013).

A representação física dos *qubits* pode ser representada por estados ortogonais associados a qualquer sistema quântico de dois níveis de energia, uma representação deste conceito é o spin de um elétron, que assume os dois estados. Considerando essa diferença física pode-se obter ganhos significativos na transição do *bit* para o *qubit*. A vantagem do *qubit* é a necessidade de uma única partícula para escrever esse estado, o que não acontece na computação clássica que tem a necessidade de ter duas partículas separadas para escrever o estado (FIGUEIREDO, 2013).

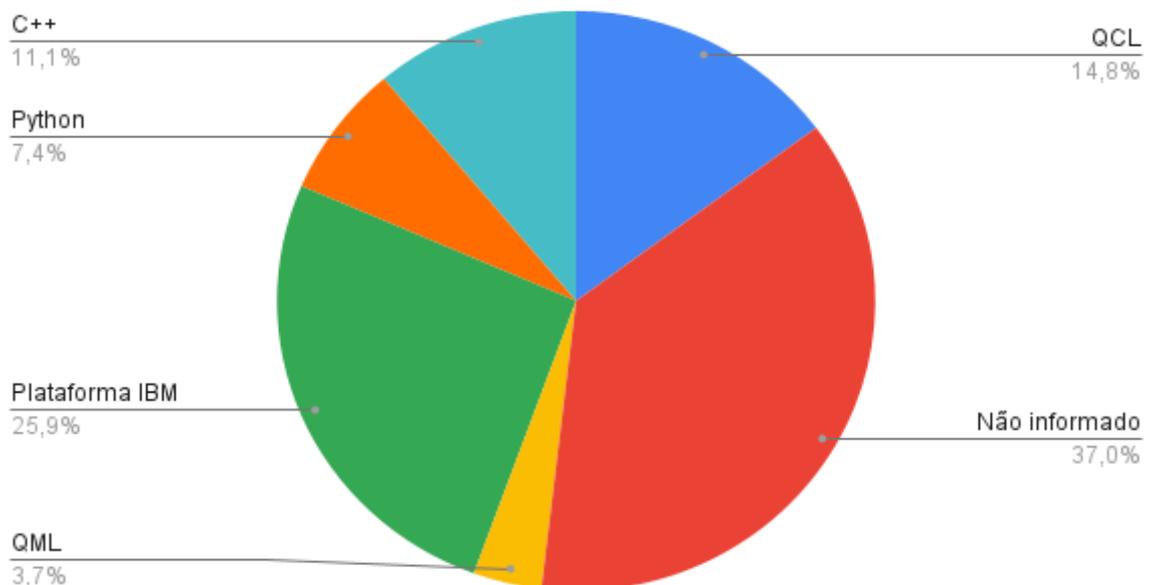
Para que seja uma arquitetura completa, a mesma deve conter as portas lógicas e em comparação com as clássicas, estas precisam de uma sequência de bits para obter uma saída com o estado correspondente à transformação efetuada. Da mesma forma, para a computação quântica

existem as portas quânticas. Diferente das clássicas, as quânticas devem ser reversíveis, ou seja, o número de *qubits* obtido na saída deve ser o mesmo na entrada (SANTOS, 2016).

Seguindo o conceito de portas quânticas, existem algumas com características semelhantes à da computação clássica. Uma delas é a porta *NOT*, cuja ação inverte o *bit* de entrada de 0 para 1 ou de 1 para 0, essa mesma porta em CQs leva o nome de operador de *Pauli  $\sigma_x$* , que ao atuar em um estado de *spin* ele inverte a direção do estado. Por outro lado, existem portas únicas para a computação quântica, uma delas é a porta *Hadamard*, onde sua atuação é capaz de criar superposição de dois estados. Uma outra porta muito importante é a *CNOT*, que opera em dois qubits, invertendo o segundo dependendo do valor do primeiro (GOUVÊA, 2016).

**Questão 2:** Quais são as linguagens de programação que podem ser usadas para extrair o máximo de desempenho dos computadores quânticos?. Dentre toda a base de pesquisa utilizada foi visto que ainda é muito incerto qual a melhor linguagem para se extrair o maior desempenho de um computador quântico, porém como mostra a Tabela 3 abaixo, existe uma grande diversidade de linguagens e ou ferramentas que podem ser utilizadas para CQs.

**Tabela 3:** Comparativo de linguagens utilizadas em computadores quânticos.



Como pode ser observado, existem linguagens de programação já conhecidas como o *C++* e *Python*, também é possível visualizar que em várias pesquisas não foi informado qual linguagem foi utilizada.

Por outro lado, existem várias outras linguagens que estão surgindo para essa nova arquitetura em desenvolvimento, uma delas é a *QCL*. Sua construção utiliza-se como base a linguagem C, oferecendo uma sintaxe que pode especificar os registradores e operadores quânticos. Atualmente, o *QCL* é capaz de simular os fenômenos quânticos em arquiteturas clássicas, mas com uma diferença enorme em tempo de execução, se for comparado a um computador quântico (FIGUEIREDO, 2013).

Dentre todas as linguagens de programação apresentadas no gráfico acima, observa-se que a plataforma IBM se sobressai comparada a outras. Esta plataforma oferece um *framework* chamado *Qiskit* desenvolvido em linguagem *Python*, contendo as ferramentas para a criação de algoritmos quânticos, com um modelo de circuito para a computação quântica universal. Sua execução em dispositivos quânticos reais tem o acesso remoto aos *hardwares* construídos e disponibilizados através do *IBM Quantum Experience* (JESUS, 2021).

Com isso, apesar de ainda estar em fase de desenvolvimento e pesquisa, existe uma série de suportes à comunidade acadêmica e o interesse em realizar testes simples e funcionais de algoritmos quânticos.

**Questão 3:** Quais são as aplicações e áreas que utilizam a computação quântica? Uma das aplicações para a utilização da computação quântica são as redes neurais. É um modelo construído baseando-se no cérebro humano, processando informações de uma maneira distinta a um computador digital convencional. As funções cerebrais são consideradas altamente complexas, possuindo a habilidade de desenvolver suas próprias regras através da experiência. Acumulando assim novas funções baseadas nas já existentes.

Uma rede neural contém um processador maciçamente paralelo e distribuído, dividido por unidades de processamento simples, tendo a capacidade de armazenar conhecimento experimental e utilizá-lo. Esse conceito assemelha-se ao cérebro em dois aspectos, sendo o primeiro adquirindo o conhecimento pela rede através de um processamento de aprendizagem e o segundo como a conexão entre neurônios, como pesos sinápticos, armazenando assim o conhecimento (MARTIELO, 2012).

Ainda segundo Martielo, outra técnica que pode ser utilizada pela computação quântica é o teleporte quântico. Com o uso dessa técnica, podemos deslocar estados quânticos de um lugar para o outro, mesmo não havendo um canal de comunicação entre receptor e comunicador.

Esse processo além de não ser necessário conhecer o estado teleportado, não há qualquer limite para a distância entre os agentes, além do canal clássico que deve ser estabelecido entre eles (SANTOS, 2016).

A criptografia é uma área importante para manter segura e privada as informações pessoais e confidenciais na Internet. Contudo, a criptografia quântica é uma solução que tem como base o sistema de palavras-chaves privadas. A partir delas, podem encriptar mensagens e enviar dados com segurança a qualquer meio de comunicação, sendo que somente será possível descriptar a mensagem com a palavra-chave correta. (FIGUEIREDO, 2013)

**Questão 4:** Qual o impacto da computação quântica na resolução dos problemas atuais? A computação quântica vem para revolucionar a forma de execução de operações. Enquanto que a computação clássica utiliza os bits representados por zero e um, a quântica utiliza os qubits e alguns fenômenos da mecânica quântica, como a superposição e o emaranhamento (SANTOS, 2016).

Um dos grandes problemas da computação clássica é a fatoração de números inteiros. Atualmente, não existe um algoritmo eficiente para solucionar esse problema, sendo que um dos objetivos da computação quântica é ser mais eficiente, resolvendo o problema de fatoração a partir do algoritmo de *Shor*. (FIGUEIREDO, 2013)

O algoritmo de *Shor* juntamente com a computação quântica impacta diretamente na segurança de sistemas devido a sua velocidade de facturação. Os sistemas atuais utilizam a criptografia para proteção e o método mais utilizado é a criptografia *RSA*. Esta usa conceitos e ideias básicas da matemática, a qual baseia-se na dificuldade de fatorar um número em seus componentes primos. Com um computador quântico, a velocidade de solução desse problema seria muito inferior, enquanto um computador clássico levaria anos, o quântico levaria algumas horas para resolver. (DOS SANTOS, 2016)

Um outro grande problema da computação clássica é a busca de dados em um banco não-ordenado (UDS - *unsorted database search*), este problema é muito comum e difícil de ser resolvido. Muitos dos problemas científicos podem ser reduzidos a problemas de UDS e esta tem larga aplicação em ciência e tecnologia. Mesmo para teóricos da computação, é bastante comum problemas analíticos diferenciados. Dada a complexidade de manipulação de dados, a computação quântica sobressai a esse problema, dado ao fato de que os algoritmos

quânticos são probabilísticos e oferecem um ótimo ponto de partida para se pensar em possíveis soluções (PONTES, 2013).

Pontes explica que em um mapa contendo muitas cidades, onde se deseja encontrar o menor caminho entre elas, existe um algoritmo simples que resolve esse problema. A resolução consiste em encontrar todas as rotas possíveis, mantendo sempre gravado o menor caminho. Se esta premissa for aplicada em um computador clássico ele terá  $N$  rotas, sendo necessário realizar  $O(N)$  operações para se determinar o menor dos caminhos. Uma solução apontada foi o algoritmo de *Grover* que através dele é possível aumentar significativamente a velocidade dessa busca (PONTES, 2013).

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que a computação quântica é uma das áreas mais promissoras em questão de tecnologia. Um salto enorme na evolução comparado a computação clássica. Contudo, será necessário tomar alguns cuidados em sua utilização e aplicação devido a alta *performance* e os riscos que pode trazer para a computação atual.

Através dos dados obtidos e analisados no mapeamento sistemático, observa-se que a computação quântica tem uma arquitetura parecida com a atual. Essa aplica conceitos da mecânica quântica tais como superposição e emaranhamento para obter um alto processamento de dados.

Outro ponto analisado foram as linguagens de programação. Ainda que não exista uma linguagem correta ou exclusiva, são necessárias várias adaptações das linguagens atuais para conseguir desenvolver um algoritmo quântico.

Como observado também, existem inúmeras aplicações possíveis para a computação quântica, mas no momento a maioria está em fase teórica e a única empresa que está utilizando um computador quântico é a IBM. Essa utilização está sendo de forma acadêmica e as aplicações teóricas apontam para áreas que podem sofrer com a implantação de um CQ, por conta da sua alta *performance*.

Para trabalhos futuros, será desenvolvida uma ferramenta simples que conseguirá mostrar o funcionamento dos algoritmos quânticos, arquitetura e uma possível aplicação de algumas problemáticas reais. Com isso será possível colocar em prática as informações coletadas e analisadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GRILO, Alex. Computação quântica e teoria de computação. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas - Repositório Institucional. 2014.

DERMEVAL, Diego. Mapeamento Sistemático e Revisão Sistemática da Literatura em Informática na Educação. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Alagoas, 2019.

SINGH, Jasmeet. Evolution in Quantum Computing. International Conference System Modeling Advancement in Research Trends (SMART), 2016.

GAMBETTA, Jay. Roadmap da IBM para expansão da tecnologia Quantum. IBM Comunica. 2020

VALADARES, Arthur Rodrigo S. BACHMANN, Dennis E. JÚNIOR, Roberto B. Computação Quântica. Instituto de Computação. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Campinas, 2010.

PONTES, Michael Alexandre; BORGES, Manoel Ferreira Neto. Busca quântica em bancos de dados xml usando algoritmo de grover. Interciência & Sociedade, v. 2, n. 1, 2013.

DOS SANTOS, Andiará Pereira; FERRARI, Paulo Celso. Computação quântica no ensino de física: uma contribuição para a alfabetização científica e tecnológica. 2016.

MATTIELLO, Felipe. Decifrando a computação quântica. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Feira Santana. 2012.

GOUVÊA, Conrado Porto Lopes. Introdução à Computação Quântica. Universidade Estadual de Campinas. 2016.

NASCIMENTO, Eduardo de Paula Lima; JUNIOR, Aleardo Manacero. Arquitetura de Computadores Quânticos e Implementação de Portas Lógicas Quânticas em Ambiente 3D. Universidade Estadual Paulista. 2019.

MENDES, João Victor Paulino. Levantamento do estado da arte da geração e otimização de código para computadores quânticos. Universidade Estadual de Londrina. 2010.

ALBINO, Anton. Programação na Plataforma IBM QE Análise Comparativa da Performance de Computadores Quânticos. Universidade Federal da Integração Latino-Americana. 2020.

JUNIOR, Ademar Crotti. 4ª Fase-Computação Quântica. Anais. SULCOMP, v. 4, 2008.

CESCONETTO, Bruno Arthur. Análise do risco de segurança do sistema Blockchain em uma realidade com computadores quânticos. Instituto de Ensino e Pesquisa. 2019.

POZZOBOM, Mauro Buemo. Estudo experimental de recursos quânticos usando os computadores quânticos da IBM. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. 2021.

PORTUGAL, Renato; MARQUEZINO, Franklin. Introdução à Programação de Computadores Quânticos. Sociedade Brasileira de Computação, 2019.

NETO, Lamartine de Hollanda Cavalcanti. Computação quântica e saúde mental sob o enfoque tomista quantum computing and mental health under the thomist approach. Congresso Virtual Internacional de Psiquiatria, Psicologia e Enfermagem em Saúde Mental. 2016.

MENDES, A.; PAULICENA, E.; DE SOUZA, W. Criptografia quântica: Uma abordagem direta. Revista de Sistemas de Informação da FSMA,(7), p. 39-48, 2011.

OKAMOTO, Carolina Midori. Teoria quântica da computação. Universidade Estadual Paulista. 2015.

ARAÚJO, Marcos Paulo Mello. Síntese evolucionária de circuitos sequenciais inspirada nos princípios da computação quântica. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2008.

MORETTI, Rafael Henrique. Análise do efeito de entropia em computação quântica: simulações em ambiente paralelo. 2015.

SANTOS, Alan C. O Computador Quântico da IBM e o IBM Quantum Experience. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 39, 2016.

MORETTI, Rafael Henrique. Análise do efeito de entropia em computação quântica: simulações em ambiente paralelo. 2015.

JESUS, Gleydson Fernandes. Computação quântica: uma abordagem para a graduação usando o Qiskit. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, 2021.

SOUZA, Paulo JP. Adiabatic Quantum Computation: From Adiabatic Theorem to D-Wave Computer. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, 2021.

RABELO, Wilson RM; COSTA, Maria Lúcia M. Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qubits. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, 2018.

VIANA, José Paulo Feitosa Baía; GLORIA, Marcos Paulo Almeida; AZEREDO, Francisco José Corrêa. Computadores Quânticos, princípios e inovação tecnológica. *Revista de trabalhos acadêmicos - Campus Niterói*, n. 1, 2016.

D'EMIDIO, Marcelo. Avaliação da lei de Moore e Proposta de um Modelo de Previsão Alternativo Baseado em Técnicas de Extrapolação de Tendências. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, v. 1, n. 2, 2010.