

Algoritmos quânticos para problemas clássicos: uma comparação de performance e implementação

Ricardo Ruiz¹, Gabriel Gomes², Calebe Bianchini^{1,2}

¹Ciência da Computação
Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo – SP – Brasil

{32134908,32134762}@mackenzista.com.br, calebe.bianchini@mackenzie.br

Resumo. *Esta pesquisa visa comparar o desempenho de algoritmos quânticos e clássicos em situações desafiadoras, especialmente em problemas complexos com grande quantidade de dados. Utilizando o ambiente Google Cirq para implementação, a abordagem teórico-metodológica combina revisão bibliográfica extensiva com experimentação prática. O objetivo é analisar empiricamente métricas de desempenho, como tempo de execução e eficácia na resolução de problemas em conjunto com análise assintótica, para validar a hipótese de que algoritmos quânticos podem superar seus equivalentes clássicos. Espera-se que os resultados contribuam para uma compreensão mais aprofundada da aplicabilidade prática dos algoritmos quânticos*

1. Introdução

O constante avanço da computação e a crescente demanda por soluções mais eficientes têm conduzido a um cenário de busca contínua por algoritmos que otimizem a resolução de problemas complexos. Tanto na ciência e na produção de hardware quanto no mercado de trabalho, algoritmos clássicos têm sido pilares fundamentais para uma ampla gama de aplicações. No entanto, o advento da computação quântica promete revolucionar a forma como abordamos essas questões, oferecendo um novo paradigma de processamento que pode superar as limitações dos algoritmos clássicos em determinados contextos e superar o limite físico apresentado nos computadores atuais. Enquanto a computação clássica utiliza bits que podem estar em estados 0 ou 1, a computação quântica utiliza qubits que podem existir em estados de sobreposição, representando simultaneamente 0 e 1. Essa capacidade de processamento paralelo quântico é o que confere à computação quântica sua notável vantagem em certos tipos de cálculos.

Nesse contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo principal investigar a viabilidade e o potencial da computação quântica na resolução de problemas clássicos. A questão de pesquisa que norteará este estudo é a seguinte: "Como algoritmos clássicos amplamente utilizados na ciência ou no mercado de trabalho se comparam a seus equivalentes quânticos em termos de desempenho e implementação?".

O objetivo geral deste TCC é analisar, comparar e avaliar o desempenho de algoritmos clássicos amplamente consagrados com suas contrapartes quânticas, identificando as situações em que a computação quântica oferece melhorias significativas em relação à eficiência e eficácia na resolução de problemas.

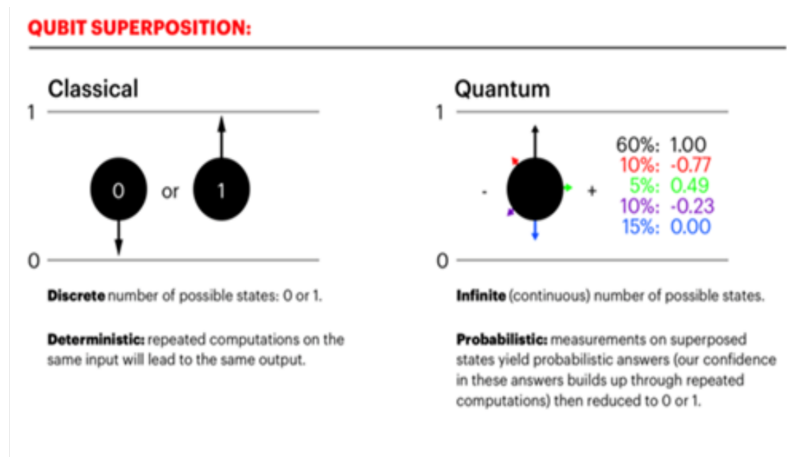


Figure 1. Princípio básico da computação clássica vs princípio básico da computação quântica

Para alcançar o objetivo geral proposto, as seguintes etapas de trabalho serão desenvolvidas:

- Realizar uma revisão abrangente da literatura para identificar algoritmos clássicos amplamente utilizados em domínios científicos e no mercado de trabalho.
- Investigar e compreender os princípios da computação quântica, incluindo os conceitos fundamentais de qubits, superposição e emaranhamento.
- Identificar algoritmos quânticos equivalentes aos algoritmos clássicos selecionados, com foco naqueles que apresentam potencial para melhorias significativas em termos de desempenho.
- Implementar os algoritmos clássicos e quânticos selecionados, seguindo as melhores práticas de programação, e realizar testes de desempenho sob diferentes cenários e entradas.
- Analisar e comparar os resultados dos testes, destacando as vantagens e desvantagens de cada abordagem

A hipótese subjacente a este estudo é que, em determinadas situações, os algoritmos quânticos equivalentes aos algoritmos clássicos apresentarão um desempenho superior, especialmente em problemas complexos que envolvem grande quantidade de dados ou cálculos intensivos. No entanto, espera-se que a implementação dos algoritmos quânticos seja desafiadora devido à natureza peculiar da computação quântica, o que pode limitar sua aplicação em alguns casos. Portanto, a pesquisa buscará confirmar ou refutar essa hipótese com base em evidências empíricas obtidas por meio da análise comparativa de desempenho e implementação de ambos os tipos de algoritmos.

2. Referencial Teórico

[Polak and Rieffel 1965]

Pelo fato de que para aprender a computação quântica é praticamente reaprender a computação novamente, utilizamos esse livro para realizar o entendimento da computação quântica, nos dando uma base para posteriormente entender seus algoritmos.

[Gamberi and Ponte 2022]

Sugerido pelo nosso orientador Prof. Dr. Calebe de Paula Bianchini, o texto realiza a análise de diversos algoritmos quânticos, o que é ideal para dar uma base de como os algoritmos quânticos são implementados, fora o fato que o texto realiza uma análise profunda da possibilidade da utilização de um computador quântico para a resolução do mesmo.

[Martiel and Remaud 2020]

Esse texto chamou nossa atenção pelo fato de abordar a prática de se criar um algoritmo com backtracking, mas utilizando computação quântica. Como desejamos realizar comparações entre algoritmos convencionais e quânticos, esse artigo com certeza será de grande ajuda.

[ADEDYOYIN et al. 2022]

Também como uma base para o estudo de algoritmos quânticos, e focando na implementação, escolhemos esse artigo, que tem como objetivo explicar a implementação de algoritmos quânticos para quem deseja se aprofundar no assunto e ainda não sabe onde começar, encaixando perfeitamente no nosso escopo.

[Ohno 2023]

Esse artigo tem como ênfase a resolução do problema conhecido como “o problema dos bandidos com várias armas”, apesar de não necessariamente utilizarmos esse algoritmo, o artigo foi escolhido para entendermos como seria a abordagem quântica para a criação de algoritmos gulosos.

[Khadiev and Safina 2023]

Esse artigo tem como ênfase a abordagem de programação dinâmica para problemas em grafos acíclicos dirigidos, este artigo nos chamou atenção pela abordagem quântica de programação dinâmica.

[Ayanzadeh et al. 2022]

Esse artigo mostra como aproveitar quantum annealers para selecionar melhores candidatos para algoritmos gulosos, este artigo é útil para o entendimento de otimização de algoritmos quânticos.

[Jeffery et al. 2017]

Este artigo estuda a complexidade de algoritmos quânticos em paralelo em cada intervalo de tempo, este artigo nos agregaria no aprendizado sobre complexidade de algoritmos em computação quântica e sobre paralelização.

[Montanaro 2018]

Este artigo descreve um método para obter speedup quânticos de algoritmos clássicos baseados em backtracking, este artigo é útil para entender sobre a vantagem dos algoritmos quânticos sobre os algoritmos clássicos

[Moussa and Calandra 2020]

Este artigo disserta sobre Quantum Approximate Optimization Algorithm, um dos algoritmos quânticos mais promissores para abordar problemas do mundo real, o que ajudará a aprender mais sobre otimização de algoritmos na computação quântica.

[Preskill 2018]

Este artigo disserta sobre a importância de ferramentas e de tecnologias para o desenvolvimento de soluções quânticas

3. Materiais e Métodos

A escolha do ambiente de programação quântica Google Cirq é respaldada por sua popularidade na comunidade de pesquisa quântica. Autores como [Preskill 2018] destacam a

importância de ferramentas acessíveis para o desenvolvimento de algoritmos quânticos, e a facilidade de uso do Cirq em conjunto com sua alta acessibilidade o torna uma escolha relevante para experimentação prática.

Em conjunto com o Google Cirq, realizaremos uma análise profunda da complexidade e da eficiência do algoritmo, indo além da análise assintótica. A análise assintótica é uma abordagem teórica que avalia o comportamento do algoritmo à medida que o tamanho do problema se aproxima do infinito. No entanto, como apontado por [Cade et al. 2023], essa abordagem tem limitações, pois muitas vezes pode ser insuficiente para capturar as nuances do desempenho do algoritmo em situações práticas.

Assim, à semelhança de [Cade et al. 2023], nossa abordagem incluirá não apenas a análise assintótica, mas também uma análise empírica mais detalhada (Figura 2). Essa análise empírica visa medir o verdadeiro tempo de execução em pior caso, proporcionando uma compreensão mais completa e prática da eficiência do algoritmo. Dessa forma, pretendemos fornecer insights mais sólidos sobre o desempenho do algoritmo em cenários do mundo real, indo além das simplificações oferecidas pela análise assintótica. Essas escolhas metodológicas alinham-se à natureza aplicada desta pesquisa, que busca não apenas explorar os fundamentos teóricos da computação quântica, mas aplicá-los em situações práticas. A popularidade do Google Cirq, ressaltada por Preskill (2018), é crucial para garantir a acessibilidade na implementação de algoritmos quânticos, reforçando a abordagem qualitativa em nossa pesquisa.

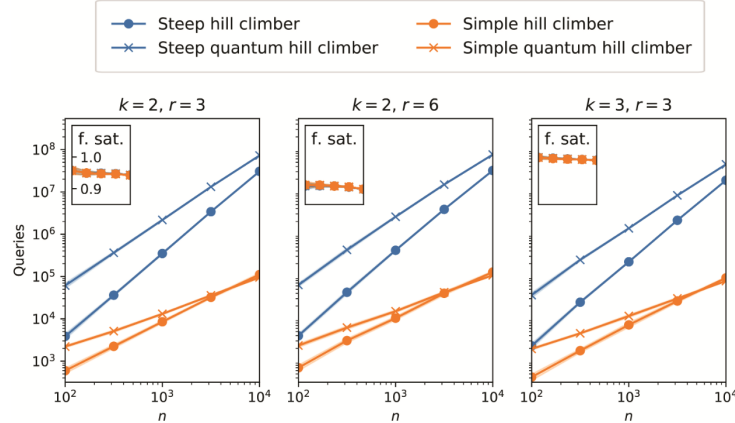


Figure 2. [Cade et al. 2023]: Resultados numéricos para as contagens de consultas em instâncias de max-k-sat geradas aleatoriamente

Além disso, para transcender as limitações da análise assintótica, adotamos uma abordagem quali-quantitativa, conforme argumentado por Chris (2023). Essa escolha metodológica reflete a natureza exploratória da pesquisa, à medida que buscamos compreender a eficiência real dos algoritmos em cenários complexos.

Ao incluir uma análise empírica mais detalhada, a pesquisa adquire uma dimensão explicativa, indo além do simples entendimento teórico. Essa abordagem metodológica reforça nossa finalidade de não apenas explorar novas possibilidades na aplicação de algoritmos quânticos, mas também explicar, de maneira prática, o desempenho relativo em comparação com algoritmos clássicos.

Dessa forma, a combinação do Google Cirq, análise qualitativa e análise empírica posiciona nossa pesquisa em um contexto metodológico robusto e abrangente, refletindo sua natureza aplicada, abordagem quali-quantitativa, finalidade exploratória e explicativa.

4. Cronograma

1. Procurar por ferramentas online para trabalhar com computação quântica. Exemplo: Google Cirq
2. Pesquisas e leitura para o entendimento básico de como funciona a física quântica
3. Pesquisas e leitura para o entendimento básico de como funciona a computação quântica
4. Escolha de um algoritmo clássico que encontraremos a solução quântica
5. Aprofundamento no funcionamento do algoritmo clássico escolhido
6. Escolha de alguns algoritmos quânticos disponíveis atualmente
7. Aprofundamento no funcionamento dos algoritmos quânticos escolhidos
8. Refinamento e validação das escolhas.
9. Estudo de estrutura de dados quânticas para aplicação em algoritmos

Referências Bibliográficas

- ADEDOYIN, A., J. A., AMBROSIANO, J., ANISIMOV, P., CASPER, W., CHENNUPATI, G., COFFRIN, C., DJIDJEV, H., GUNTER, D., KARRA, S., LEMONS, N., LIN, S., MALYZHENKOV, A., MASCARENAS, D., MNISZEWSKI, S., NADIGA, B., DANIELO'MALLEY, OYEN, D., PAKIN, S., PRASAD, L., ROBERTS, R., ROMERO, P., SANTHI, N., SINITSYN, N., and JAMES G. WENDELBERGER, P. J. S., YOON, B., ZAMORA, R., ZHU, W., STEPHANEIDENBENZ, BÄRTSCHI, A., COLES, P. J., VUFFRAY, M., and LOKHOV, A. Y. (2022). Quantum algorithm implementations for beginners. <https://arxiv.org/pdf/1804.03719.pdf>.
- Ayanzadeh, R., Dorband, J., Halem, M., and Finin, T. (2022). Quantum-assisted greedy algorithms. <https://arxiv.org/pdf/1912.02362.pdf>.
- Cade, C., Folkertsma, M., Niesen, I., and Weggemans, J. (2023). Quantifying Grover speed-ups beyond asymptotic analysis. <https://quantum-journal.org/papers/q-2023-10-10-1133/pdf/>.
- Gamberi and Ponte, G. (2022). Estudo de algoritmos quânticos e suas implementações. <https://dspace.mackenzie.br/items/071a8df21a8f-45c2-ab22-49749d06479b/>.
- Jeffery, S., Magniez, F., and de Wolf, R. (2017). Optimal parallel quantum query algorithms. <https://arxiv.org/pdf/1309.6116.pdf>.
- Khadiev, K. and Safina, L. (2023). Quantum algorithm for dynamic programming approach for dags and applications. <https://arxiv.org/pdf/2212.14433.pdf>.
- Martiel, S. and Remaud, M. (2020). Practical implementation of a quantum backtracking algorithm. <https://arxiv.org/pdf/1908.11291.pdf>.
- Montanaro, A. (2018). Quantum-walk speedup of backtracking algorithms. https://research-information.bris.ac.uk/ws/files/202776270/Full_text_PDF_final_published_version_.pdf.

- Moussa, C. and Calandra, H. (2020). To quantum or not to quantum: towards algorithm selection in near-term quantum optimization. <https://scholarlypublications.universiteitleiden.nl/access/item%3A3282039/view>.
- Ohno, H. (2023). Quantum greedy algorithms for multi-armed bandits. <https://link-springer-com.ez347.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11128-023-03844-2>.
- Polak, W. H. and Rieffel, E. G. (1965). *Quantum Computing: A Gentle Introduction*. The MIT Press, 1st edition.
- Preskill, J. (2018). Quantum Computing in the NISQ era and beyond. <https://quantum-journal.org/papers/q-2018-08-06-79/pdf/>.