

Avaliação de Desempenho Temporal em Computação Quântica: Estudo sobre Transpilação e Execução em Circuitos de Superposição e Entrelaçamento

William Wallace Teodoro Rodrigues, João Fabrício Filho

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Bacharelado em Ciência da Computação (DACOM)
Campo Mourão – PR – Brasil

williamwallace@alunos.utfpr.edu.br, joaof@utfpr.edu.br

Abstract. *Quantum computing emerges as a promising technology, particularly due to its potential to significantly reduce the processing time of complex algorithms. In this context, temporal efficiency becomes a crucial factor for its practical viability. This study investigates the relationship between transpilation time — the optimization stage of a quantum circuit prior to execution — and the actual execution time. Transpilation plays a fundamental role, as it adapts circuits to the constraints of quantum hardware, optimizing their structure and enabling execution on real devices. The results indicate that transpilation can account for more than 92% of the total processing time; however, its impact does not hinder the efficient execution of quantum circuits.*

Keywords: *Quantum Computing, Time Efficiency, Transpilation, Execution Time, Superposition, Entanglement.*

Resumo. *A computação quântica desponta como uma tecnologia promissora, especialmente pela possibilidade de reduzir significativamente o tempo de processamento de algoritmos complexos. Nesse contexto, a eficiência temporal torna-se um fator crucial para a sua viabilidade prática. Este estudo investiga a relação entre o tempo de transpilação — etapa de otimização de um circuito quântico antes de sua execução — e o tempo de execução propriamente dito. A transpilação desempenha um papel fundamental, pois adapta os circuitos às restrições do hardware quântico, otimizando sua estrutura e viabilizando sua execução em dispositivos reais. Os resultados obtidos indicam que a transpilação pode representar mais de 92% do tempo total de processamento, embora seu impacto não comprometa a execução eficiente dos circuitos.*

Palavras-chave: *Computação Quântica, Eficiência Temporal, Transpilação, Tempo de Execução, Superposição, Entrelaçamento*

1. Introdução

A computação quântica surge como uma área promissora para resolver problemas complexos, mas sua viabilidade prática depende da eficiência temporal dos algoritmos, especialmente dos tempos de transpilar e de execução [Venturelli et al. 2017]. O tempo de transpilar consiste no tempo de conversão de algoritmos em circuitos otimizados para o hardware quântico, enquanto o tempo de execução refere-se à aplicação desses circuitos no dispositivo. O objetivo deste artigo é realizar uma comparação entre os tempos de transpilação e execução de circuitos quânticos que exploram os princípios de

superposição e entrelaçamento. Para tanto, foi utilizado o simulador Qiskit, no qual foram implementados e analisados circuitos representativos dessas propriedades fundamentais da computação quântica. As medições dos tempos de transpilação e execução foram realizadas de forma sistemática, visando avaliar a contribuição relativa de cada etapa no desempenho global. Os resultados obtidos indicam que a transpilação corresponde, em média, a 92% do tempo total de processamento. No entanto, esse fator não compromete significativamente a eficiência da execução, sugerindo que a etapa de transpilação, embora custosa, é suficientemente rápida para aplicações práticas.

2. Referencial teórico

A computação quântica explora princípios da mecânica quântica, como superposição, entrelaçamento e interferência, para resolver certos problemas de forma mais eficiente que a computação clássica [Jesus et al. 2021]. Os *qubits*, que podem representar múltiplos estados simultaneamente, permitem processamento exponencialmente superior. Portas quânticas como Hadamard, CX e CZ são essenciais na construção de algoritmos como os de Grover e Shor [Ugwuishi et al. 2022], que demonstram o potencial da computação quântica. No entanto, sua implementação prática depende da eficiência temporal, dividida entre o tempo de transpilação — que traduz algoritmos em circuitos otimizados — e o tempo de execução — necessário para processar esses circuitos no *hardware*. Ambos são influenciados por fatores como complexidade do circuito e técnicas de otimização [https://docs.quantum.ibm.com 2021]. A interação entre esses tempos é fundamental para identificar gargalos e promover avanços rumo a uma computação quântica mais eficiente e viável.

3. Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados utilizando o **Qiskit**, uma plataforma de código aberto para a criação, simulação e execução de circuitos quânticos [https://docs.quantum.ibm.com 2021]. O Qiskit oferece ferramentas para a construção de circuitos em alto nível (*Qiskit Terra*), simulação de alto desempenho (*Qiskit Aer*), que foi utilizado nesse trabalho, e verificação de erros (*Qiskit Ignis*). Ele também fornece um ambiente integrado para a execução de algoritmos quânticos em hardware real ou simuladores.

A análise proposta compara o tempo de transpilação e de execução de dois circuitos quânticos que exploram os fenômenos de superposição e entrelaçamento [Asfaw e collaborators 2020] [Mermin 2007], implementados em linguagem *Python* com o uso da biblioteca Qiskit [Jesus et al. 2021]. Os circuitos foram escolhidos por realizarem operações equivalentes, mas com complexidade crescente, permitindo investigar a influência dessa diferença nos tempos de transpilação e execução.

O **Código 1** apresenta um circuito com 3 qubits e 3 bits clássicos. Inicialmente, aplica-se uma porta Hadamard no primeiro qubit, gerando um estado de superposição. Em seguida, duas portas *CNOT* são aplicadas em sequência, estabelecendo um entrelaçamento em cadeia entre os três qubits. Ao final, todos os qubits são medidos.

```
1 circuit1 = QuantumCircuit(3, 3)
2 circuit1.h(0)
3 circuit1.cx(0, 1)
4 circuit1.cx(1, 2)
5 circuit1.measure([0, 1, 2], [0, 1, 2])
```

Código 1. Entrelaçamento em cadeia com 3 qubits

O **Código 2** exibe um circuito com 2 qubits e 2 bits clássicos, seguindo lógica semelhante: uma porta Hadamard aplicada ao primeiro qubit cria superposição, e uma única porta *CNOT* conecta os dois qubits, resultando em um entrelaçamento bipartido. A etapa final mede ambos os qubits.

```
1 circuit2 = QuantumCircuit(2, 2)
2 circuit2.h(0)
3 circuit2.cx(0, 1)
4 circuit2.measure([0, 1], [0, 1])
```

Código 2. Entrelaçamento e superposição com 2 qubits

Para medir os tempos de transpilação e execução dos circuitos, foi utilizada a função *time.perf_counter* da linguagem *Python*. Essa função foi escolhida por oferecer alta resolução e precisão, sendo ideal para medições curtas, como as envolvidas na computação quântica. O tempo de transpilação foi calculado a partir do intervalo entre o início e o fim da chamada da função *transpile*, enquanto o tempo de execução corresponde ao intervalo da chamada do simulador até o recebimento dos resultados. Por fim, o tempo total foi obtido considerando todo o processo, desde o início da transpilação até o fim da execução. Para mitigar o impacto da sobrecarga inicial do Qiskit — comum na primeira chamada de *transpile* ou execução —, foi inserida uma chamada preliminar com um circuito simples (*dummy*). Essa abordagem assegura que os tempos medidos dos circuitos analisados reflitam de forma mais fiel o desempenho real, evitando distorções causadas por inicializações internas da biblioteca.

4. Resultados

De modo geral, os circuitos apresentaram tempos de execução bastante semelhantes entre si, com variações pequenas entre diferentes execuções. A **Tabela 1** apresenta a média dos tempos de transpilação, execução e tempo total para cada circuito, além das respectivas porcentagens.

Circuito	Tempo Médio de Transpilação (s)	Tempo Médio de Execução (s)	% Transpilação	% Execução	Tempo Total Médio (s)
Circuito 1	0.0822	0.0064	92.74%	7.26%	0.0886
Circuito 2	0.0839	0.0062	93.13%	6.87%	0.0901

Tabela 1. Média dos tempos de transpilação, execução e total dos dois circuitos testados.

Observa-se que o tempo de transpilação é significativamente superior ao tempo de execução em ambos os circuitos, representando mais de 92% do tempo total em todos os casos analisados, com os tempos de execução permanecendo praticamente constantes entre os experimentos. Esse resultado evidencia que o processo de transpilação é o fator dominante no desempenho temporal da execução de circuitos quânticos no ambiente utilizado, mesmo considerando circuitos relativamente simples.

Além disso, embora o **Circuito 1** seja estruturalmente mais complexo — tanto em número de qubits quanto em portas lógicas aplicadas —, o **Circuito 2** apresentou tempos de transpilação ligeiramente superiores em algumas execuções. Esse comportamento

aparentemente contraintuitivo sugere que a complexidade estrutural do circuito não é o único fator determinante para o tempo de transpilação. Fatores como a escolha heurística do otimizador do Qiskit, a variabilidade no mapeamento topológico dos qubits físicos, as técnicas internas de otimização aplicadas pela biblioteca, e a ordem de aplicação das portas lógicas podem influenciar significativamente esse tempo [<https://docs.quantum.ibm.com> 2021].

5. Conclusões

Os dados obtidos evidenciam que o tempo de transpilação corresponde à maior parcela do tempo total dos circuitos analisados, ultrapassando 92% nos dois casos avaliados. No entanto, os tempos absolutos de execução foram suficientemente baixos para que tal custo relativo elevado não comprometesse a eficiência global, sobretudo em ambiente simulado. Esses resultados indicam que, embora a transpilação represente um gargalo relevante no fluxo de execução quântica, seu impacto prático pode ser mitigado pela melhoria no tempo de execução dos circuitos.

Embora os experimentos realizados neste estudo tenham sido conduzidos utilizando simuladores quânticos, uma direção importante para pesquisas futuras seria a realização desses mesmos experimentos em computadores quânticos reais. A plataforma Qiskit, desenvolvida pela IBM, oferece acesso a computadores quânticos via nuvem, permitindo que os pesquisadores executem algoritmos em *hardware* quântico. A análise dos tempos de transpilação em máquinas reais, em comparação com os tempos obtidos em simuladores, oferece uma contribuição significativa para a compreensão das limitações e dos ganhos de desempenho quando se utilizam dispositivos quânticos físicos. A transpilação pode ser afetada por fatores como o ruído no *hardware* e a topologia do circuito, que são características exclusivas dos dispositivos físicos, e que podem influenciar o tempo necessário para a execução dos algoritmos. Além disso, a interação entre o software de transpilação e as limitações físicas dos computadores quânticos reais pode resultar em desafios adicionais que não são observados em simulações.

Referências

- Asfaw, A. e collaborators (2020). Learn quantum computation using qiskit. *Qiskit Textbook*.
- <https://docs.quantum.ibm.com> (2021). Ibm quantum documentation. Acessado em: 10 maio 2025.
- Jesus, G. F., Silva, M. H. F., Netto, T. G. D., Galvão, L. Q., Souza, F. G. O., e Cruz, C. (2021). Computação quântica: uma abordagem para a graduação usando o qiskit. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, 43.
- Mermin, N. D. (2007). Quantum computer science: An introduction. *Cambridge University Press*.
- Ugwuishi, C. H., Orji, U. E., Ugwu, C. I., e Asogwa, C. N. (2022). An overview of quantum cryptography and shor's algorithm. *Department of Computer Science, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria*.
- Venturelli, D., Do, M., Rieffel, E., e Frank, J. (2017). Compiling quantum circuits to realistic hardware architectures using temporal planners. *arXiv preprint arXiv:1705.08927*.