

Otimização Quântica Híbrida (QAOA) para Problema Simples Inspirado no Posicionamento de Turbinas Eólicas: Uma Prova de Conceito

Marcos A. Santos
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
marcos@exemplo.edu.br

8 de agosto de 2025

Resumo

Este trabalho apresenta uma prova de conceito para aplicação do algoritmo quântico QAOA (Quantum Approximate Optimization Algorithm) em um problema simples inspirado no posicionamento de turbinas eólicas. O modelo simplificado considera efeitos básicos de esteira (wake effects) entre turbinas em um grid discreto, formulado como problema QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) através de um Hamiltoniano de custo personalizado. A implementação híbrida desenvolvida utiliza otimização clássica-quântica variacional e permite execução tanto em simuladores clássicos quanto em hardware quântico real da IBM com transpilação otimizada. Os resultados preliminares em diferentes tamanhos de grid mostram convergência satisfatória do ansatz paramétrico, estabelecendo uma base metodológica para futuras aplicações em problemas de otimização inspirados no contexto de energia renovável.

Palavras-chave: Computação Quântica, QAOA, Energia Eólica, Otimização Combinatória, IBM Quantum

1 Introdução

A otimização do posicionamento de turbinas eólicas é um problema complexo que envolve múltiplos fatores. Neste trabalho, desenvolvemos um modelo

simplificado inspirado neste problema real, focando em aspectos fundamentais como interferência entre turbinas em um grid discreto. Esta simplificação permite explorar a aplicabilidade de algoritmos quânticos sem a complexidade de modelos aerodinâmicos completos.

O QAOA representa uma das aplicações mais promissoras da computação quântica na era NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum), oferecendo vantagem quântica potencial para problemas de otimização complexos.

2 Metodologia

2.1 Formulação do Problema

O problema simplificado inspirado no posicionamento de turbinas eólicas foi modelado como:

- Grid $n \times m$ de posições candidatas
- Variáveis binárias $x_i \in \{0, 1\}$ indicando presença de turbina
- Função objetivo: $\max \sum_i s_i x_i - \sum_{i,j} p_{ij} x_i x_j$
- onde s_i é o score de cada posição e p_{ij} são as penalidades de esteira

2.2 Implementação QAOA

- Hamiltoniano de custo: $H_C = -\sum_i s_i Z_i + \sum_{i,j} p_{ij} Z_i Z_j$
- Ansatz paramétrico com camadas alternadas de evolução temporal
- Otimização clássica dos parâmetros usando COBYLA
- Execução híbrida em simulador AER e hardware IBM Quantum

3 Resultados Preliminares

3.1 Configurações Testadas

- Grid 3×3 (9 qubits): Convergência em 50 iterações
- Grid 10×10 (100 qubits): Execução bem-sucedida em hardware IBM
- Shots otimizados: 100 por iteração para reduzir custos

3.2 Validação

A solução quântica foi validada contra busca exaustiva clássica em grids pequenos, demonstrando concordância com soluções ótimas conhecidas.

4 Conclusões

Esta prova de conceito demonstra a viabilidade da aplicação de QAOA para otimização de posicionamento de turbinas eólicas, representando um dos primeiros trabalhos a aplicar computação quântica neste domínio específico da energia renovável. Os resultados indicam potencial para escalabilidade e aplicação em problemas reais de projeto de parques eólicos.

5 Trabalhos Futuros

- Extensão para grids maiores (>100 qubits)
- Incorporação de modelos mais complexos de esteira
- Comparação com heurísticas clássicas estado-da-arte
- Análise de vantagem quântica em diferentes configurações