

# **RELATÓRIO FINAL - PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**Título:** Mitigando Erros em circuitos Quânticos para qubits supercondutores com o Qiskit1.0

**Curso:** Ciências da Computação

**Nome do Aluno:** Alexandre Silva

**RA:** 624071

**Etapas:** 7ª

**Período:** ( ) Diurno ( X ) Noturno

**Link do lattes do Aluno:** <https://lattes.cnpq.br/4483820337578044>

**Nome do professor orientador:** Luis Hilário Tobler Garcia

## 1. Introdução

Este projeto, tinha como objetivo testar diversas técnicas de mitigação de erros para circuitos quânticos, e assim, fazer a melhor computação possível usando o Qiskit 1.0.

A partir do resultado desse projeto, tínhamos como principal foco, mostrar a eficácia de tais métodos e prover a comunidade uma seleção de algoritmos e meios para corrigir erros em seus experimentos, sem a necessidade de fazer um benchmark prévio.

## 2. Metodologia

Para a realização deste, seguimos a seguinte metodologia:

1. Pesquisa para a seleção de algoritmos atualmente utilizados;
2. Leitura da documentação do framework Qiskit em sua versão 1.0;
3. Testes práticos usando diferentes máquinas em um mesmo circuito com diferentes combinações de técnicas.

Após isso, todos os dados capturados foram armazenados e disponibilizados em meu repositório do github <https://github.com/Dpbm/scientific-research-2-qec-and-qem>. Todo o código usado para tais testes foram feitos na linguagem Python e estão disponíveis no mesmo repositório.

## 3. Hipóteses

Como hipóteses para este projeto, tínhamos em mente os seguintes fatores:

1. Utilizar mid-circuit measurements seguidos de operações para corrigir o erro gerado no circuito poderia acarretar em mais erros;
2. Pós processamento é a chave para corrigir erros;
3. Circuitos menores (circuit knitting) geram menos erros.

Estas foram algumas das perguntas que permearam esta pesquisa.

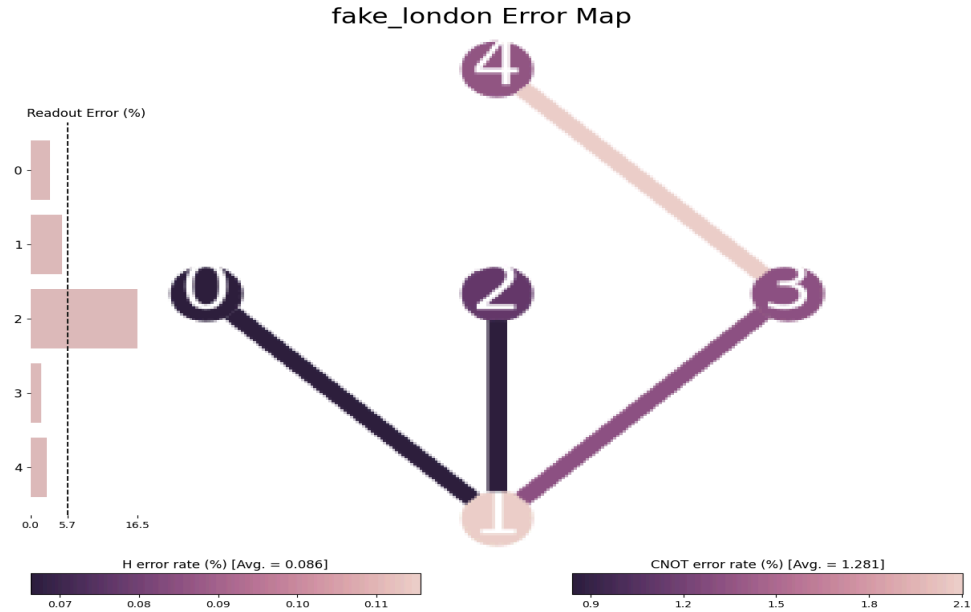
## 4. Desenvolvimento

Durante o desenvolvimento, utilizamos 3 backends diferentes, sendo eles: London V2 (5 qubits), Melbourne V2 (15 qubits) e Almaden V2 (20 qubits).

Em cada um deles, criamos um GHZ state com todos os qubits disponíveis, aplicamos métodos mitigação pré e pós execução, além de executar o circuito no fake backend relativo provido pela biblioteca *qiskit-ibm-runtime*.

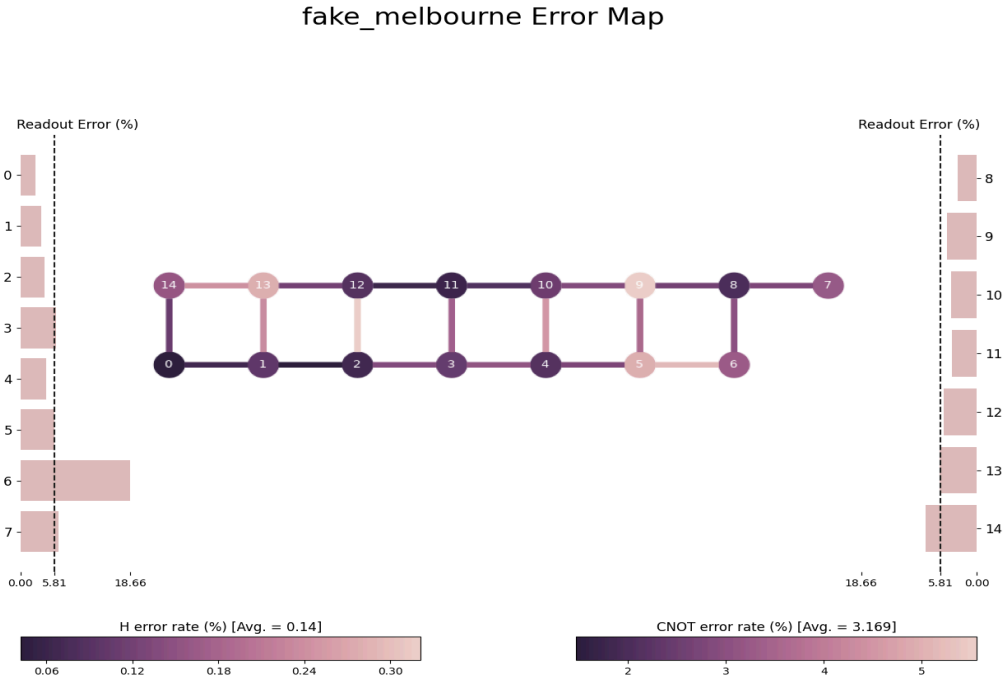
Para fins de comparação, essas são as topologias com suas respectivas taxas de erros:

Figura 1 - London Backend Topologia



fonte: Qiskit (2025)

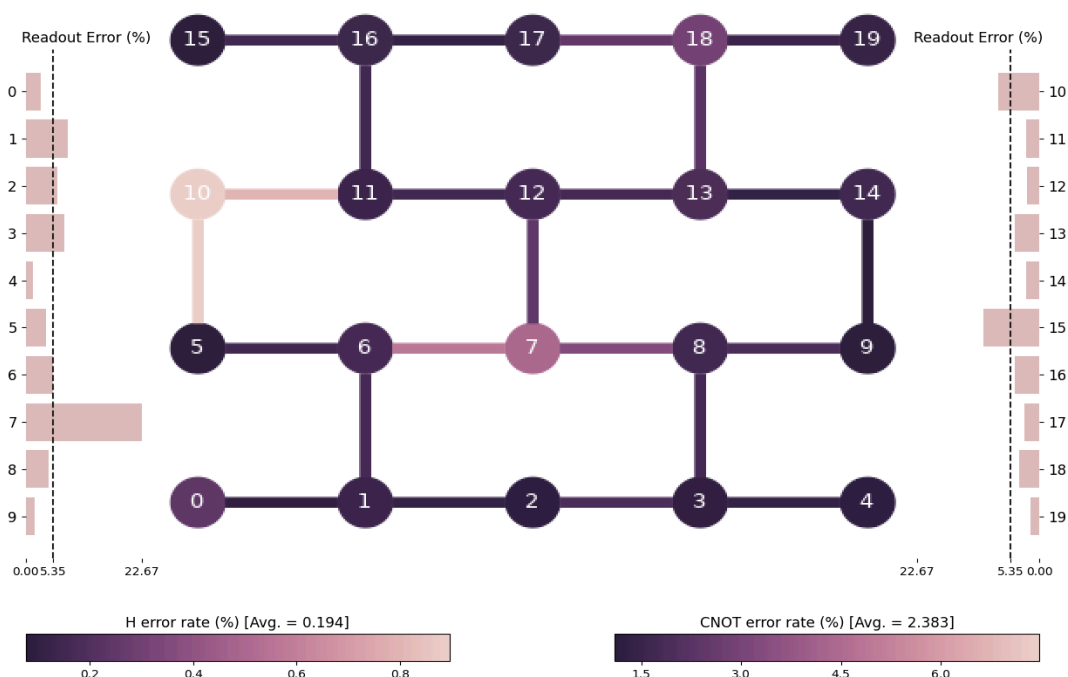
Figura 2 - Melbourne Backend Topologia



fonte: Qiskit (2025)

Figura 3 - Almaden Backend Topologia

fake\_almaden Error Map



fonte: Qiskit (2025)

Esta informação das ligações internas da QPU, são importantes durante o momento da transpilação do circuito para a máquina. O Framework, com a ajuda do transpiler e do pass-manager, se encarrega de aproximar o circuito de alto nível feito por nós para um circuito que utilize as instruções suportadas pelo backend além de fazer as conexões priorizando menor taxa de erros e menor caminho de ligação entre qubits.

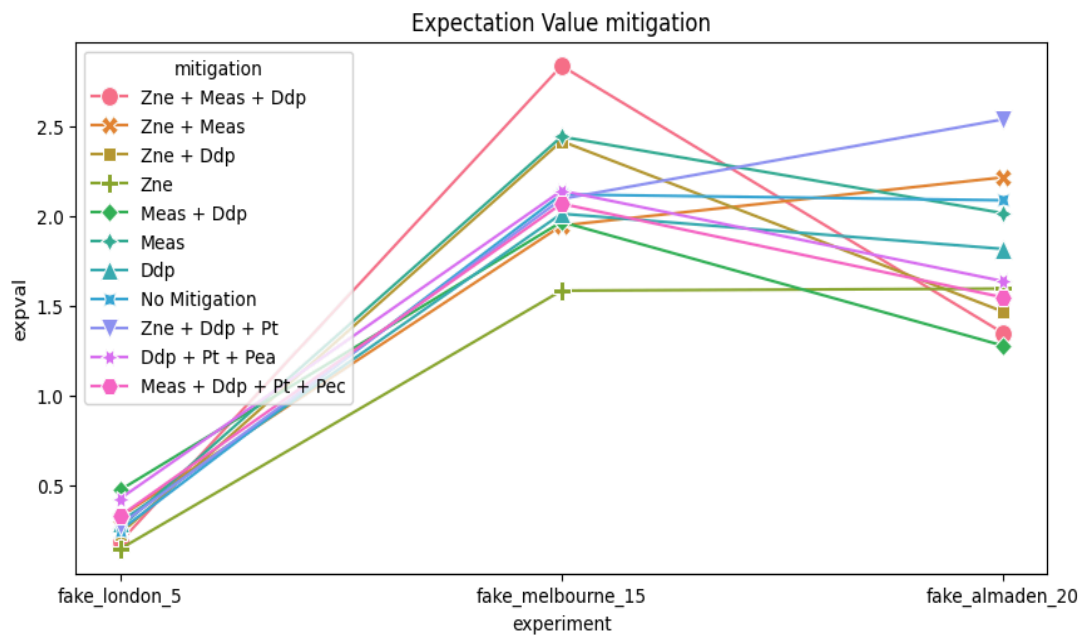
## 5. Resultados

Após a criação e transpilação do circuito, foram executados diversos experimentos utilizando combinações de técnicas para mitigação de erros baseados em expectation values.

Os observables usados seguem o formato:  $ZIII...I + IZIII...I + ... + IIII...Z$ , todos com coeficiente 1, sendo assim era esperado que cada medição no final ficasse próximo de 0, no caso ideal.

Usando métodos de mitigação nativos do qiskit, obtivemos os seguintes resultados:

Figura 4 - Comparação técnicas para expectation values



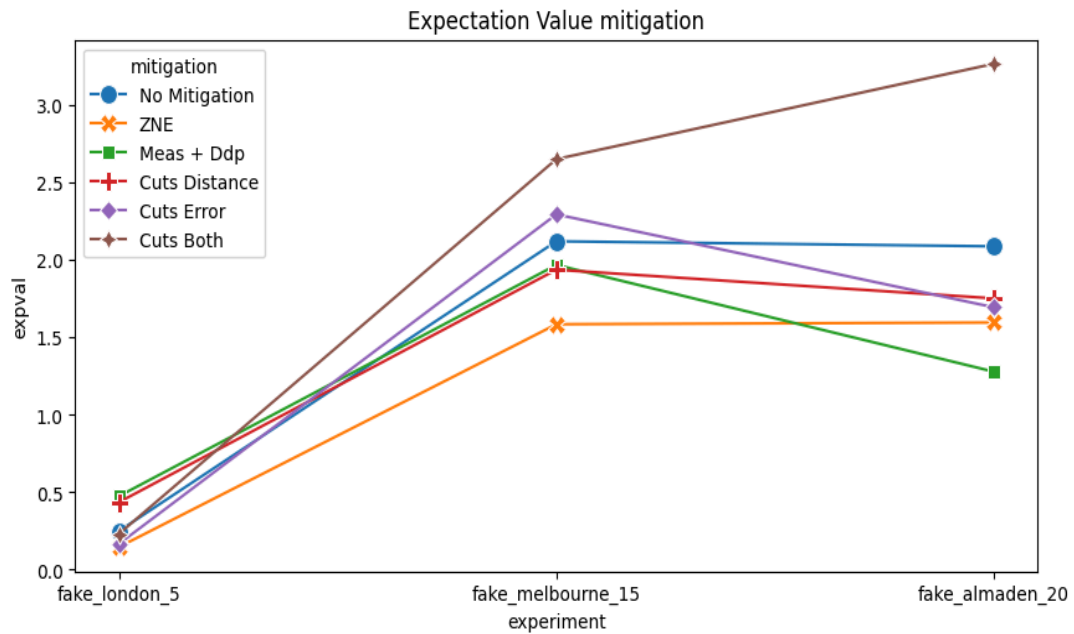
fonte: Autoria própria

Com esses resultados, é possível ver que ZNE é a técnica que conseguiu se sair melhor na maior parte das vezes. Contudo, podemos ainda considerar a combinação Meas + DDP, uma vez que as diferenças entre a combinação e o ZNE não passam de 0,38.

No geral, ambos se mantiveram estáveis durante os testes e se aproximaram de 0 nos 3 casos.

Para os testes com expectation values, por fim, foi testada a performance com circuit knitting nesses circuitos.

Figura 5 - Comparação Melhores técnicas para expectation values e circuit knitting



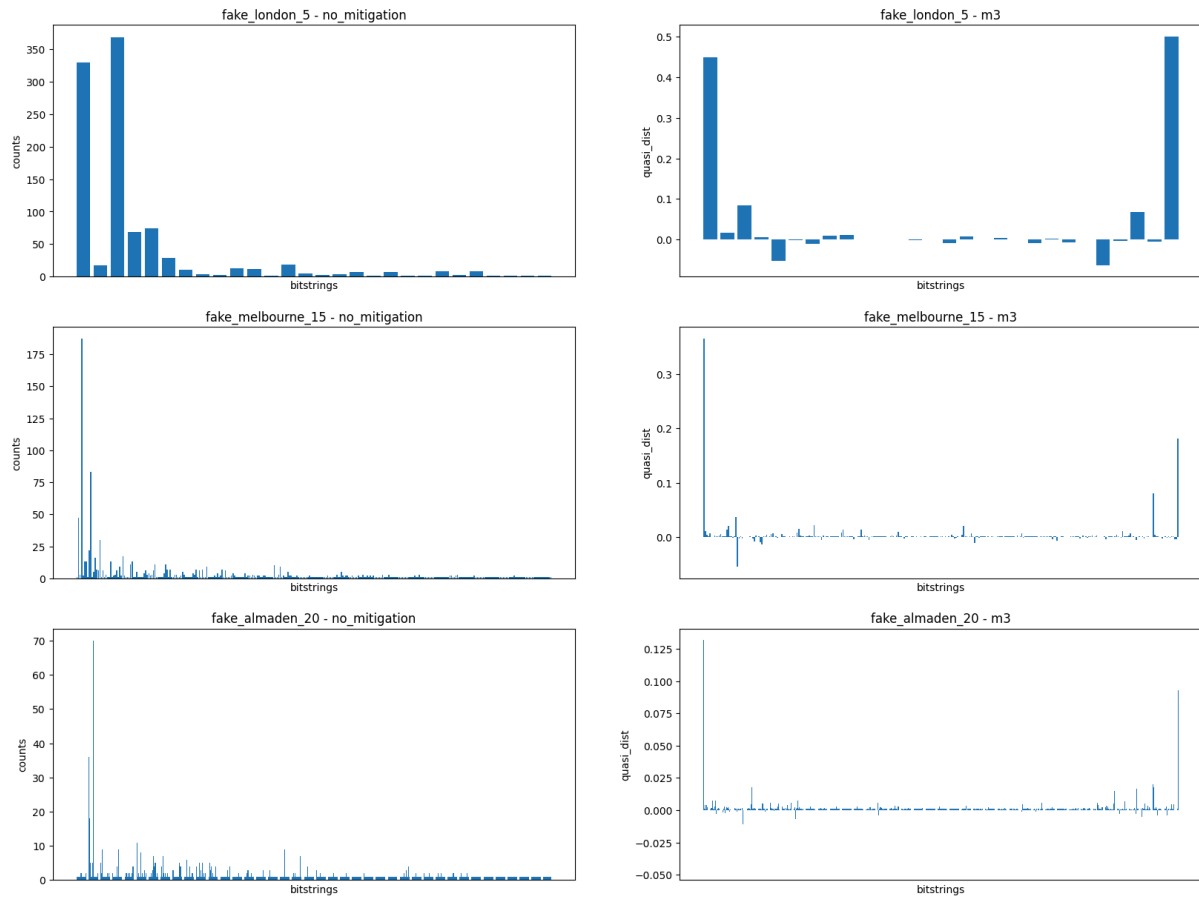
fonte: Autoria própria

Nos testes, mesmo usando cortes no circuito para reduzir distância e conexão entre qubits com maior taxa de erros, os métodos ZNE e MEAS + DDP ainda se saíram como os melhores nesses casos.

Além destes, foram realizados outros testes baseados em counts e quasi dists, como mid-circuit measurements e M3.

Figura 6 - Resultados obtidos usando M3

Comparison using M3

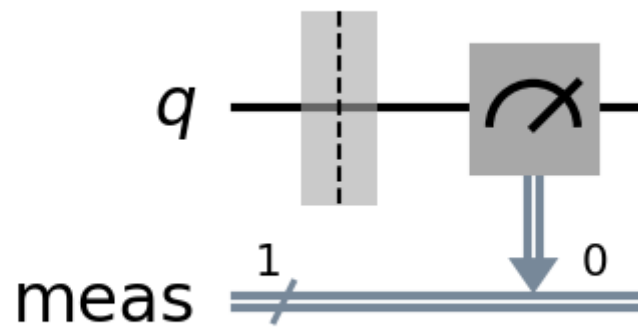


fonte: Autoria própria

Usando M3, conseguimos melhorar a distribuição, fazendo com que fique mais próxima do esperado (valores máximos para 0000...0 e 1111...1). No entanto, conforme a quantidade de qubits aumenta, os erros também aumentam, acarretando em uma dispersão longe do ideal para os casos com 20 qubits.

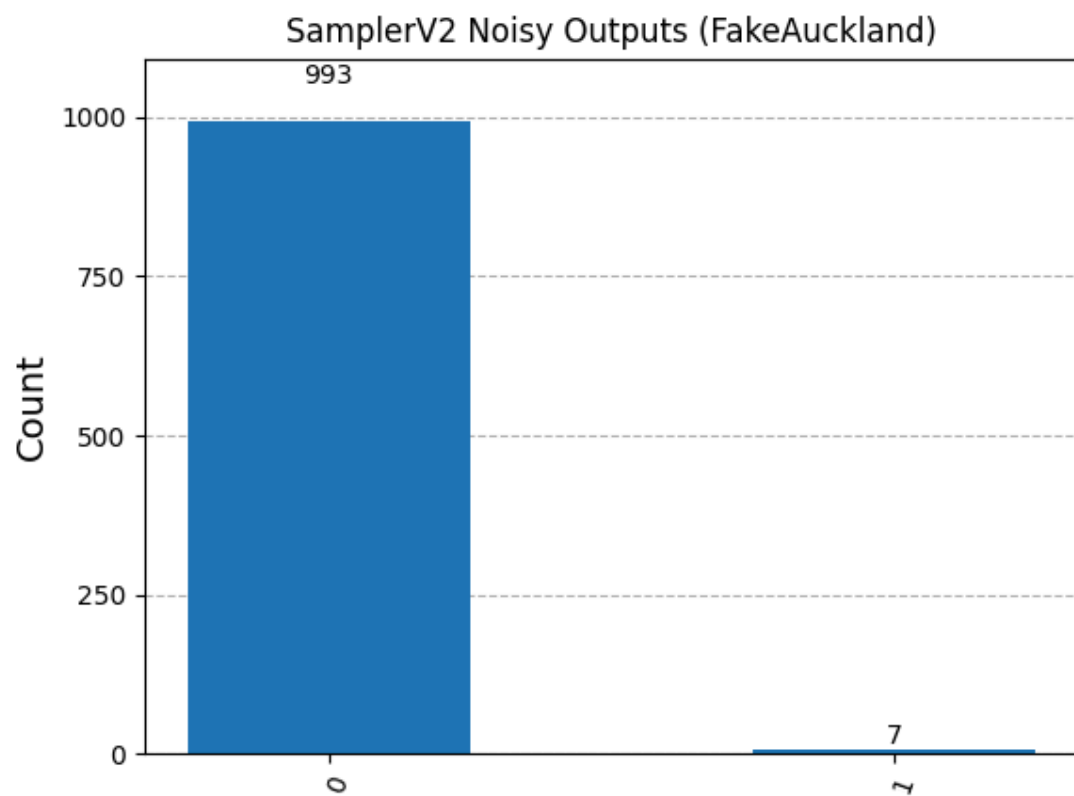
Para os casos usando mid-circuit measurements, não tivemos muito sucesso. Para testes pequenos em circuitos com apenas um qubit sem qualquer operação aplicada, o método não apresentava ganhos, sendo assim foi deixado de lado durante os testes com o GHZ.

Figura 7 - Circuito base



fonte: Autoria própria

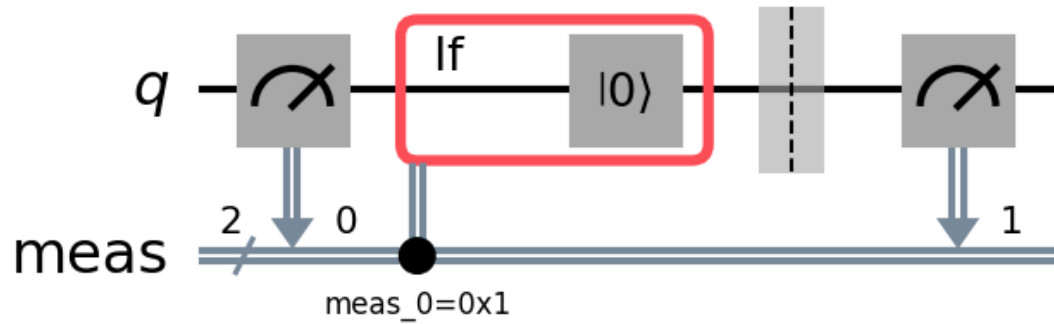
Figura 8 - Resultados do experimento com o circuito base



fonte: Autoria própria

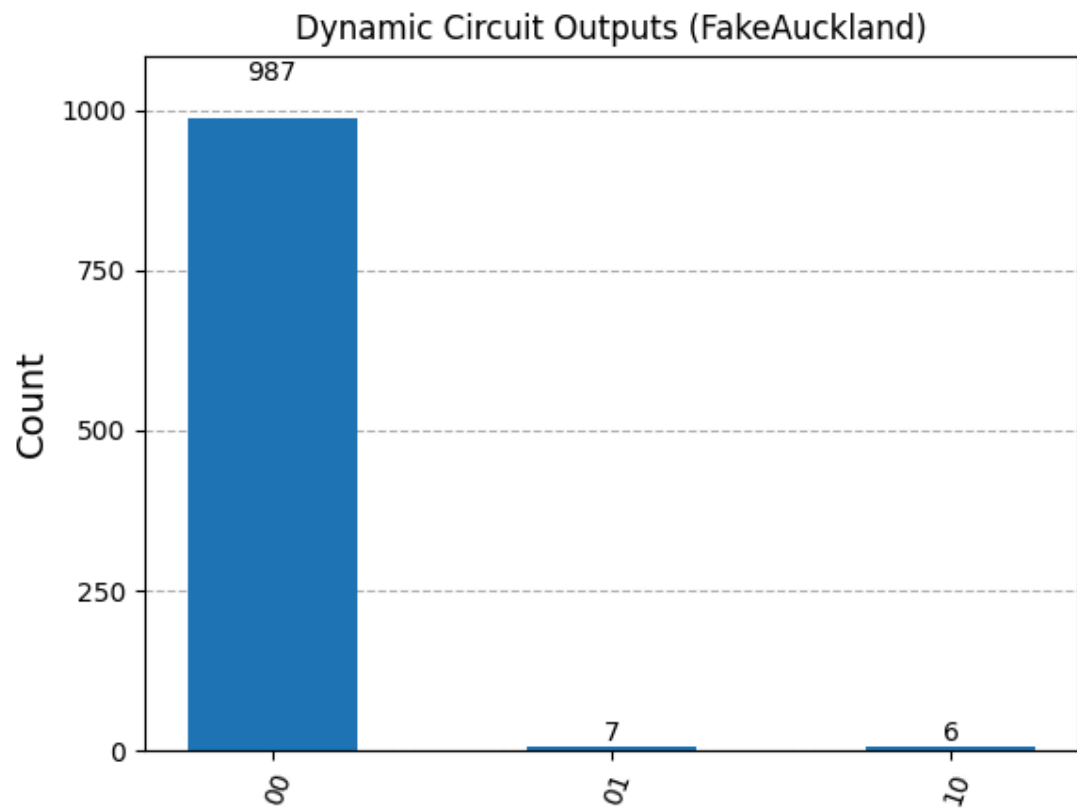


Figura 9 - Circuito usando mid-circuit measurements



fonte: Autoria própria

Figura 10 - Resultado do experimento usando mid-circuit measurements



fonte: Autoria própria

## 6. Conclusão

Perante os métodos apresentados, o ZNE e MEAS + DDP se mostraram os mais promissores para o uso em tais circuitos quânticos. Afirmando que, como pensado durante a elaboração das hipóteses, pré/pós-processamento são ferramentas poderosas para a remoção dos erros de circuitos quânticos.

Concluimos então que para este tipo de circuito com muitos entanglements, ZNE e MEAS + DDP se saem muito bem para a mitigação de expectation values e M3 ainda é uma ferramenta poderosa para experimentos usando counts/quasi distributions, sendo especialmente vantajosa quando disponível grande poder computacional clássico. Por fim, foi visto que mid-circuit measurements poderiam ser mais interessantes para a aplicação em circuitos atualmente, mas pelos nossos testes, este não se mostra maduro o suficiente para ser empregado em circuitos reais.

Finalizando este trabalho, estamos trabalhando para publicar os resultados em periódicos de revistas como Springer o mais rápido possível.