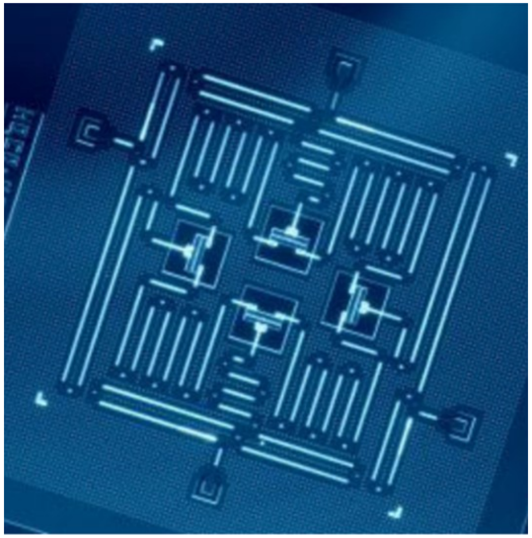


(*) IBM's quantum device. Source: Wikipedia (CC BY 4.0)

Como Programar Computadores Quânticos Reais

Franklin de Lima Marquezino
Universidade Federal do Rio de Janeiro
franklin@cos.ufrj.br

Maio/2023

Objetivos desta apresentação

- **O que é a CQ?**
Trata-se de usar a mecânica quântica para resolver alguns problemas mais eficientemente

- **O que a CQ não é?**
Não é mágica! Ou seja, nem todo problema fica eficiente em computadores quânticos

- **O que temos hoje?**
Posso MESMO programar um computador quântico real?

- **O que teremos no futuro?**
Quais setores beneficiados no curto, médio e longo prazo

Os limites da computação clássica

- Lei de Moore

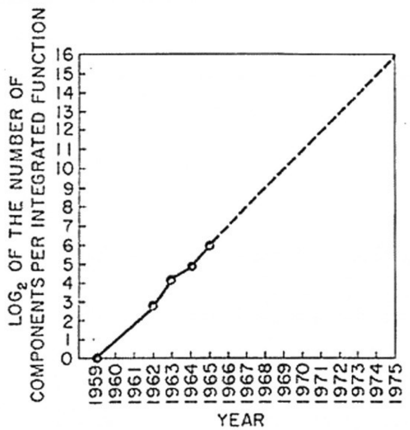
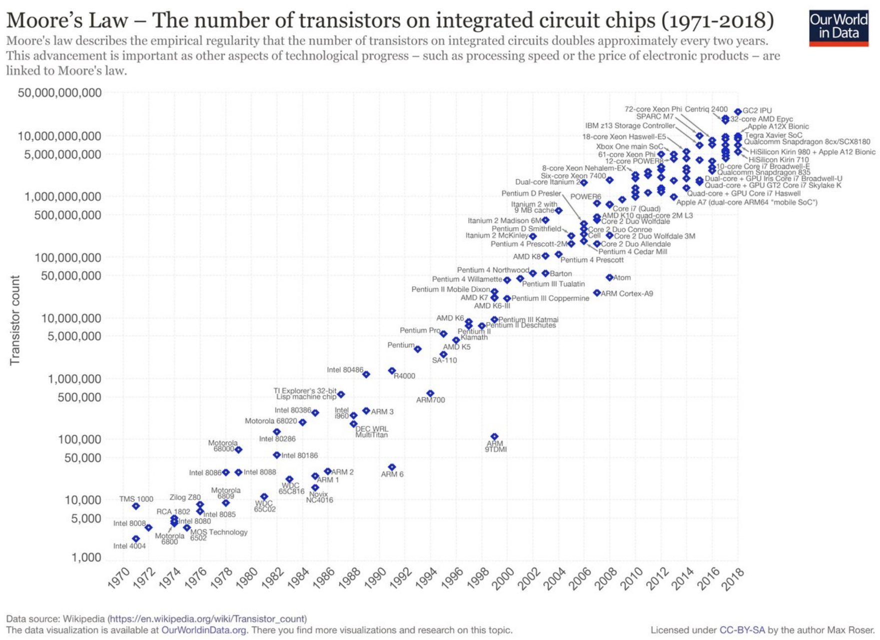
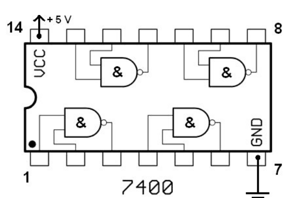


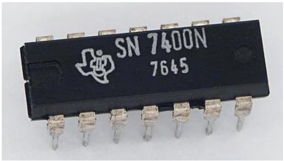
Fig. 2 Number of components per integrated function for minimum cost per component extrapolated vs time.

(*) Gordon Moore's original graph, Source: Electronics, 1965



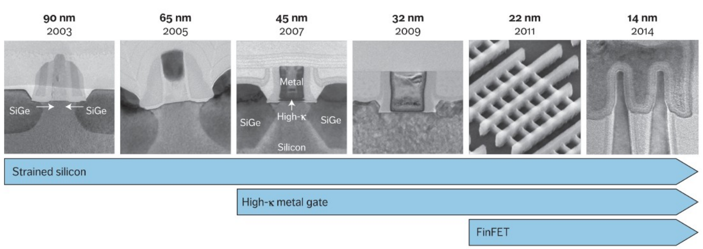
- Miniaturização





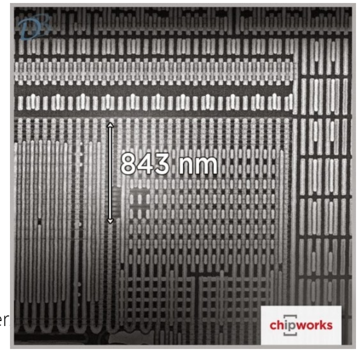
1960s

(*) Texas IC containing 4 NAND gates. Source: Wikipedia



(*) Source: IEEE Micro, www.computer

2015

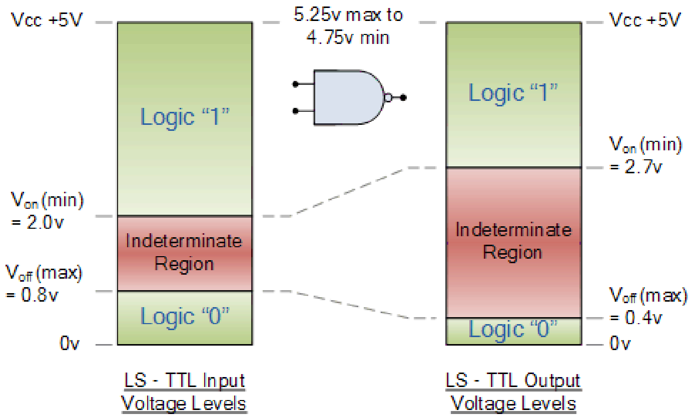


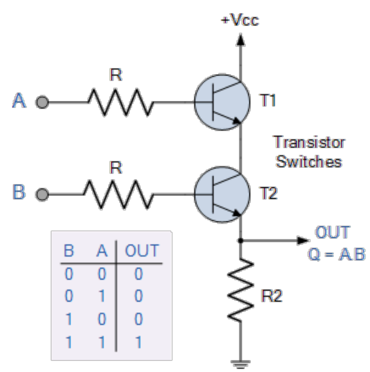
Mecânica quântica

- **As regras do jogo, ou seja, os postulados da mecânica quântica**
  - Representação
  - Evolução
  - Medições
  - Composição
- **Conselho para estudantes:**
  Keep Calm
  and
  Learn Linear Algebra

Apresentando os bits quânticos

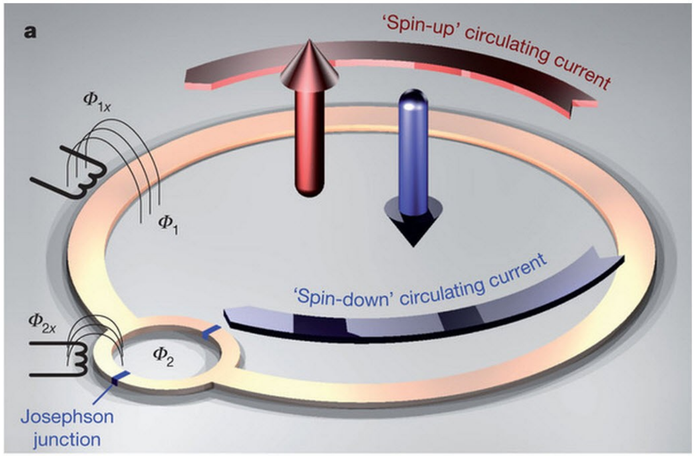
- Bits (clássicos) podem ser 0 ou 1





(*) Source: www.eletronics-tutorials.ws

- Bits quânticos (qubits) pode ser um vetor (1,0) ou um vetor (0,1) ou qualquer combinação deles



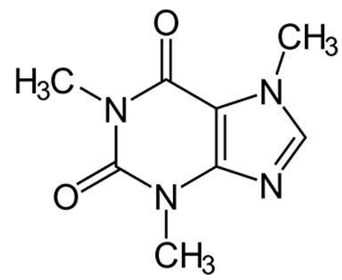
(*) Superconducting qubit. Source: "Quantum annealing with manufactured spins", Nature, 2011

Aplicações de computadores quânticos

- **Simulação**
  - Química quântica
  - Design de materiais
  - Design de fármacos
- **Otimização**
  - Finanças
  - Óleo & gás
- **Machine learning**
- **Buscas**
- **Fatoração**
- **etc.**

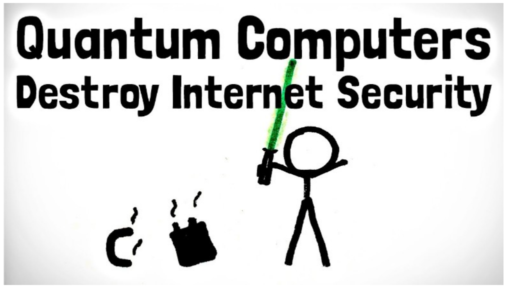
mais cedo

mais tarde



Simulação clássica, 10^{48} bits (Mais que o número de átomos de nosso planeta!)

Simulação quântica, 160 qubits

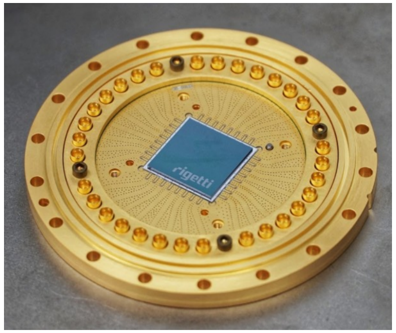


(*) minutephysics, Youtube

Requer muitos qubits e tolerância a falhas

Computadores quânticos atuais

- Para rodar um programa quântico, você vai precisar de um computador quântico!
- Já existem vários computadores QREI disponíveis (poucos qubits, ruidosos)
- Alguns vocês já podem acessar
  - IBM Q
  - Dwave Leap (não no Brasil)
  - AWS Braket (pago)
  - Azure Quantum (pago)
- Vários outros sendo construídos em diversos lugares



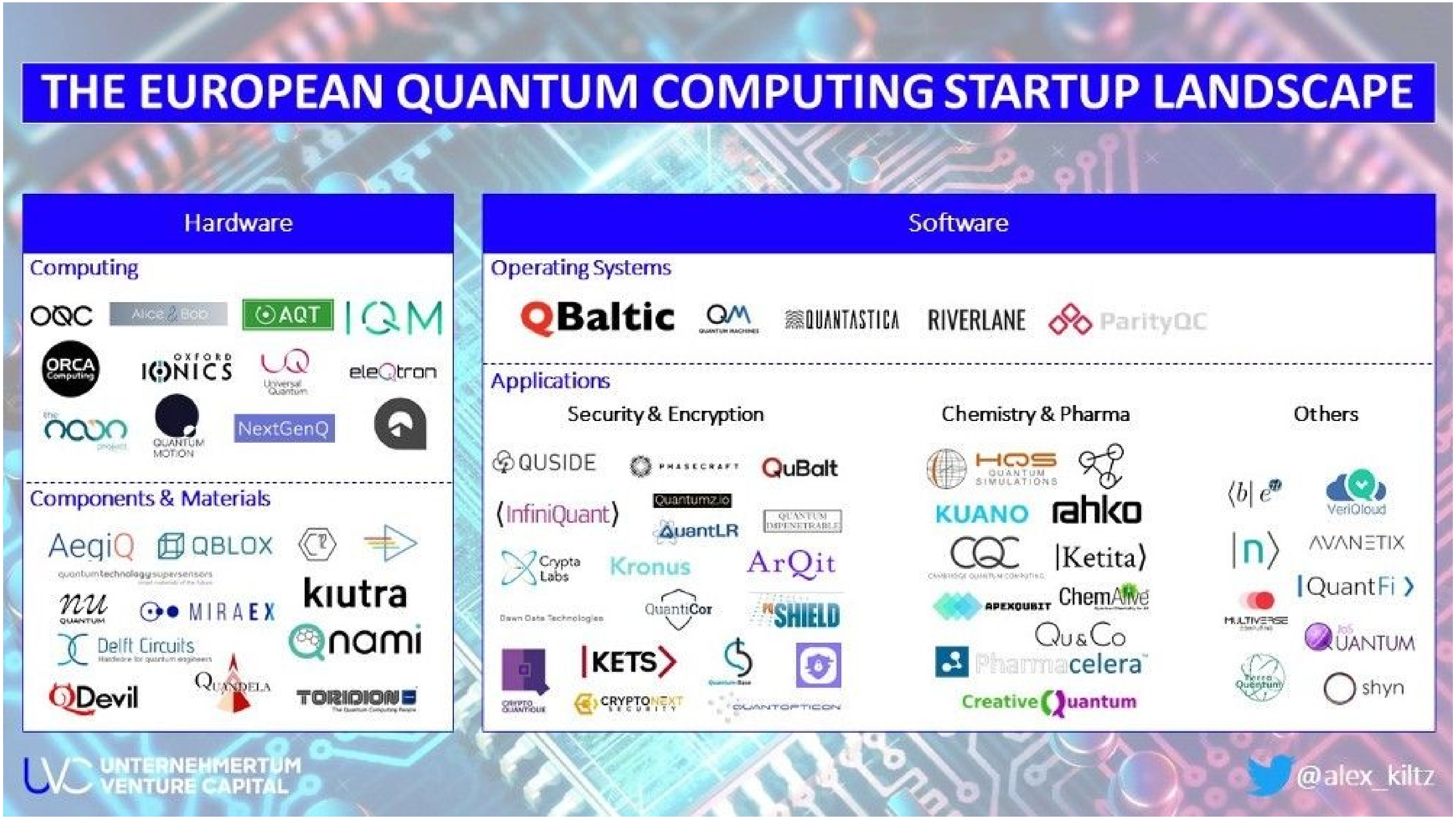
Empresas

Software e consultoria

Hardware quântico

. . . e muitas outras

Empresas

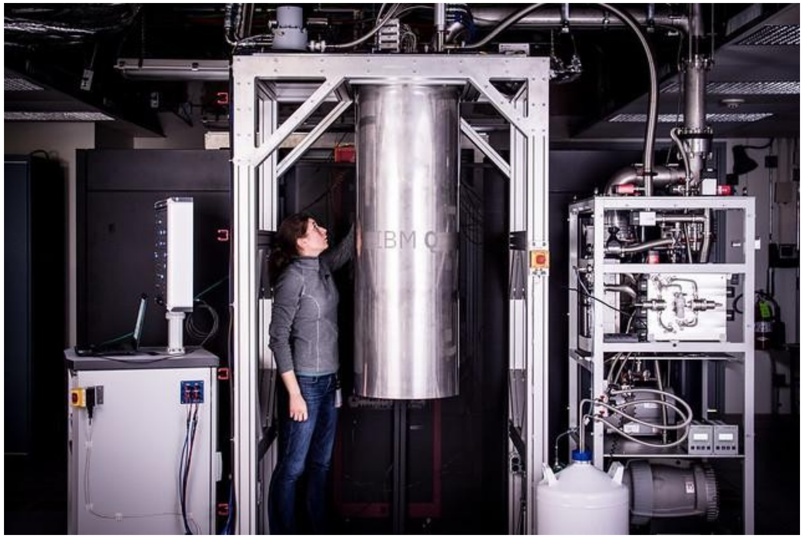

THE EUROPEAN QUANTUM COMPUTING STARTUP LANDSCAPE
Hardware
Computing
Components & Materials
Software
Operating Systems
Applications
Security & Encryption
Chemistry & Pharma
Others
QBaltic
QUANTASTICA
RIVERLANE
ParityQC
QUSIDE
PHASECRAFT
QuBalt
InfiniQuant
Quantumz.io
QuantLR
Crypta Labs
Kronus
ArQit
QuantiCor
SHIELD
KETS
CRYPTONEXT SECURITY
QUANTOPTICON
HQS QUANTUM SIMULATIONS
KUANO
rahko
|Ketita⟩
ChemAlive
APEXQUBIT
Qu & Co
Pharmacelera
Creative Quantum
VeriQloud
AVANETIX
|QuantFi⟩
MULTIVERSE
QUANTUM
shyn
AQT
IQM
ORCA Computing
OXFORD IONICS
Universal Quantum
eleQtron
QUANTUM MOTION
NextGenQ
AegiQ
QBLOX
kiutra
MIRAEX
nami
Delft Circuits
QDevil
QUANDELA
TORIDION
UNTERNEHMERTUM VENTURE CAPITAL
@alex_kiltz

Programando um computador quântico

- IBM: circuit composer, Qasm, Qiskit (Python)
- Rigetti: pyQuil (Python)
- Xanadu: PennyLane (Python)
- Dwave: Ocean (Python)
- Microsoft: Q#
- etc

IBM Quantum

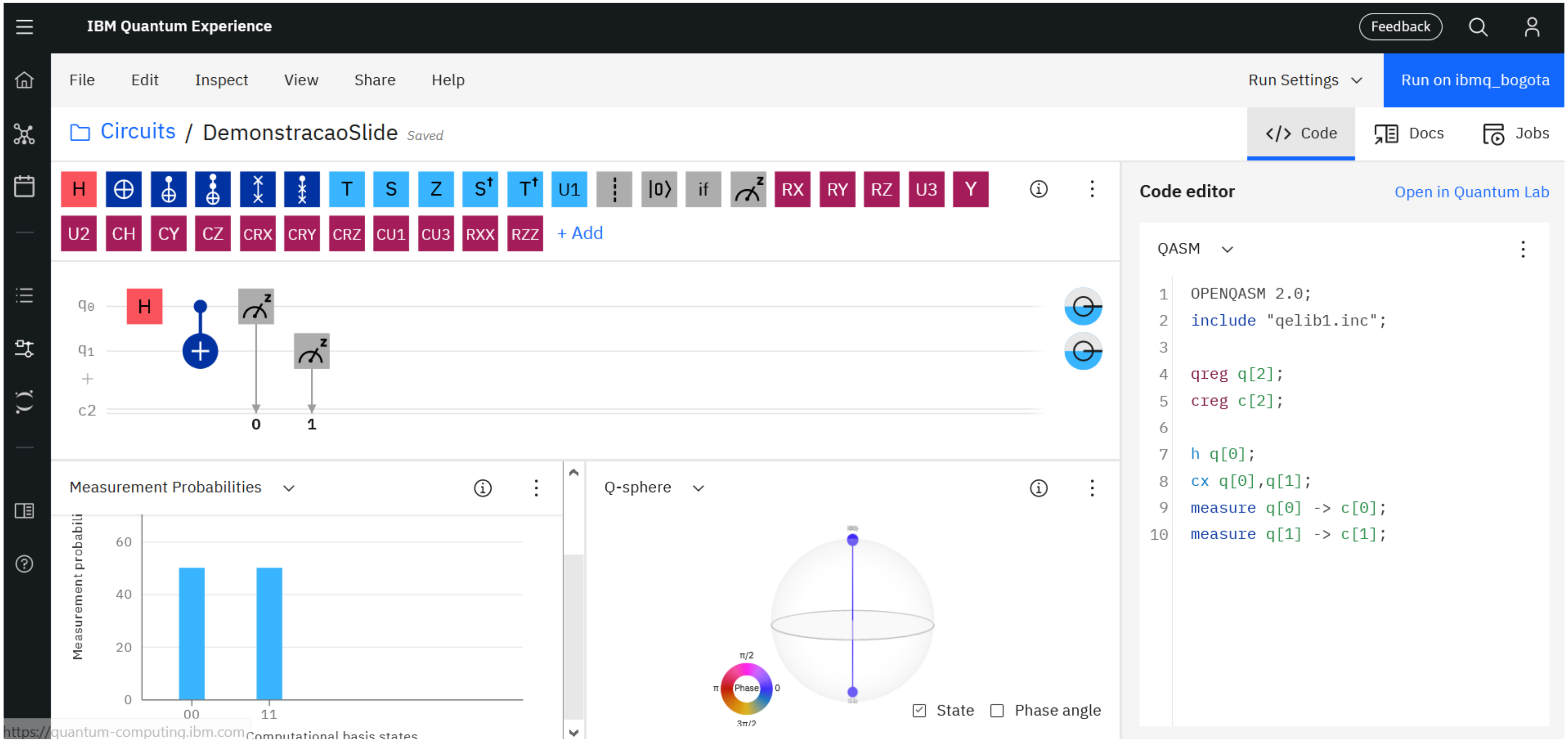
- **Boa oportunidade para experimentar computadores QREI**
- **Sistemas premium**
  - Até 433 qubits
- **Sistemas públicos**
  - Vários com 5 ou 7 qubits
  - IBM QASM Simulator (até 32 qubits simulados)
- **Acessem em https://quantum-computing.ibm.com**



(*) IBM Research

Como programar no IBM Quantum

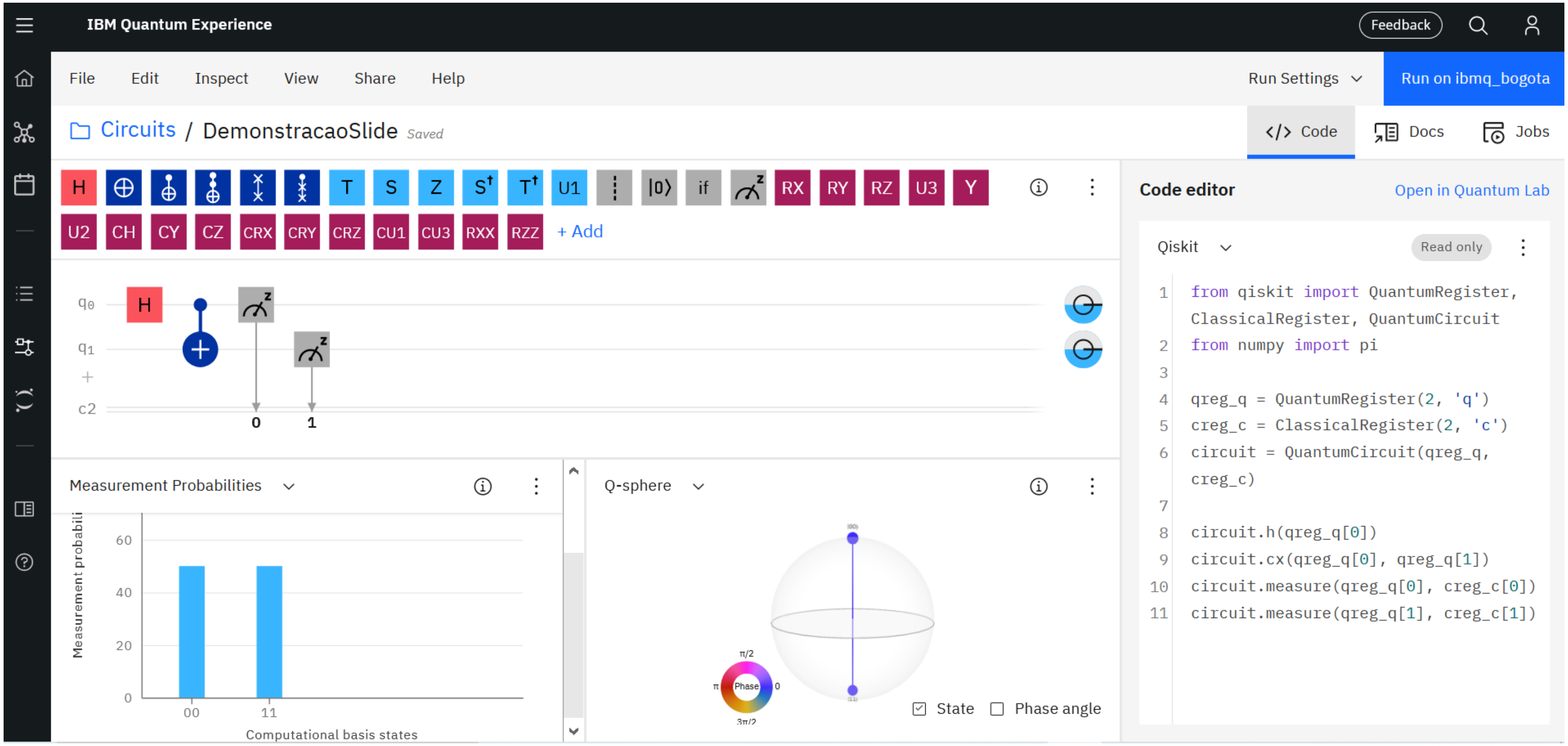
- Comece online, sem precisar instalar nada!
- Vá até https://quantum-computing.ibm.com
- Comece pelo Circuit Composer



(C) IBM Quantum Experience.
Disclaimer: I am not an IBM Employee and I do not represent IBM.

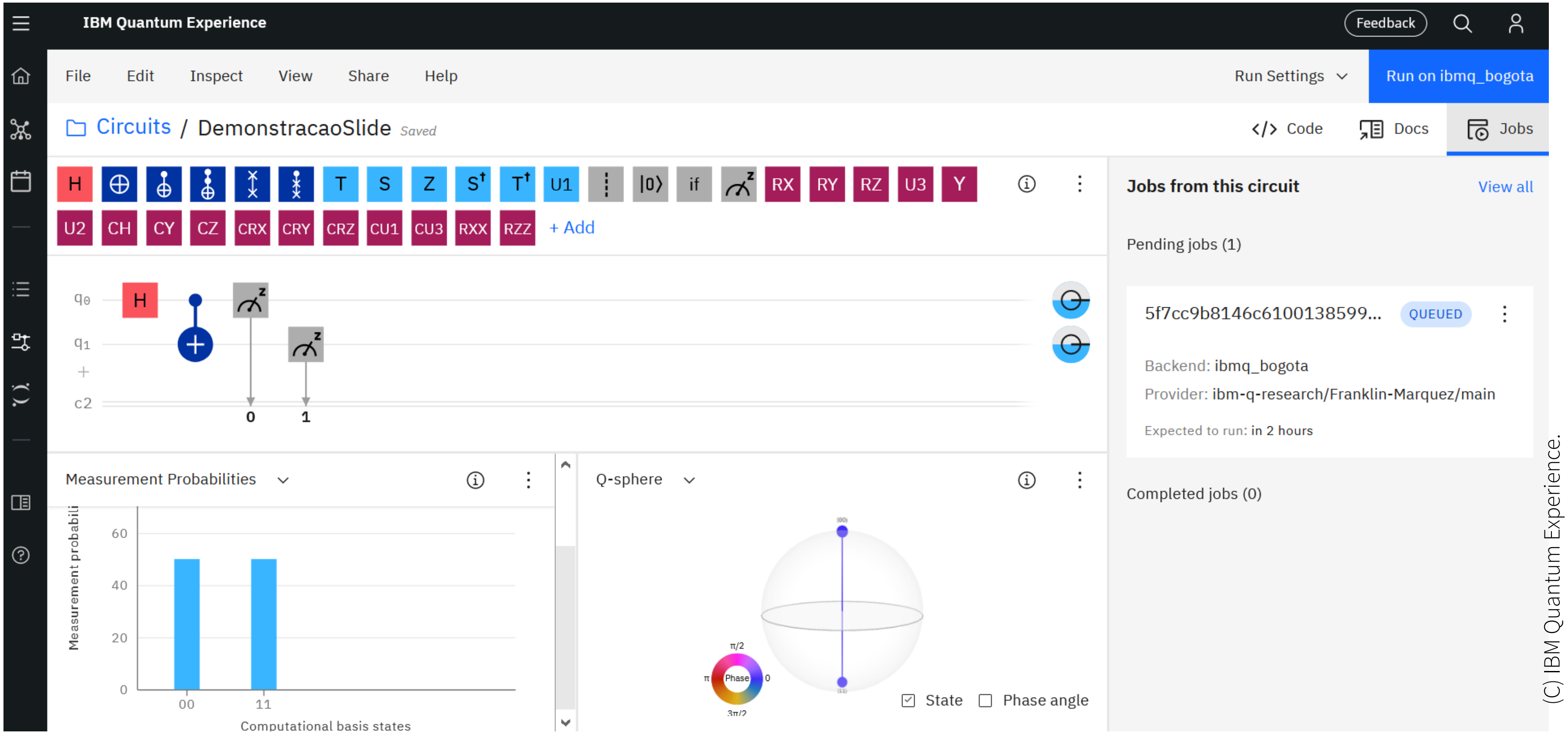
Como programar o IBM Q

- O código é gerado automaticamente em QASM e em Python (Qiskit)



Como programar o IBM Q

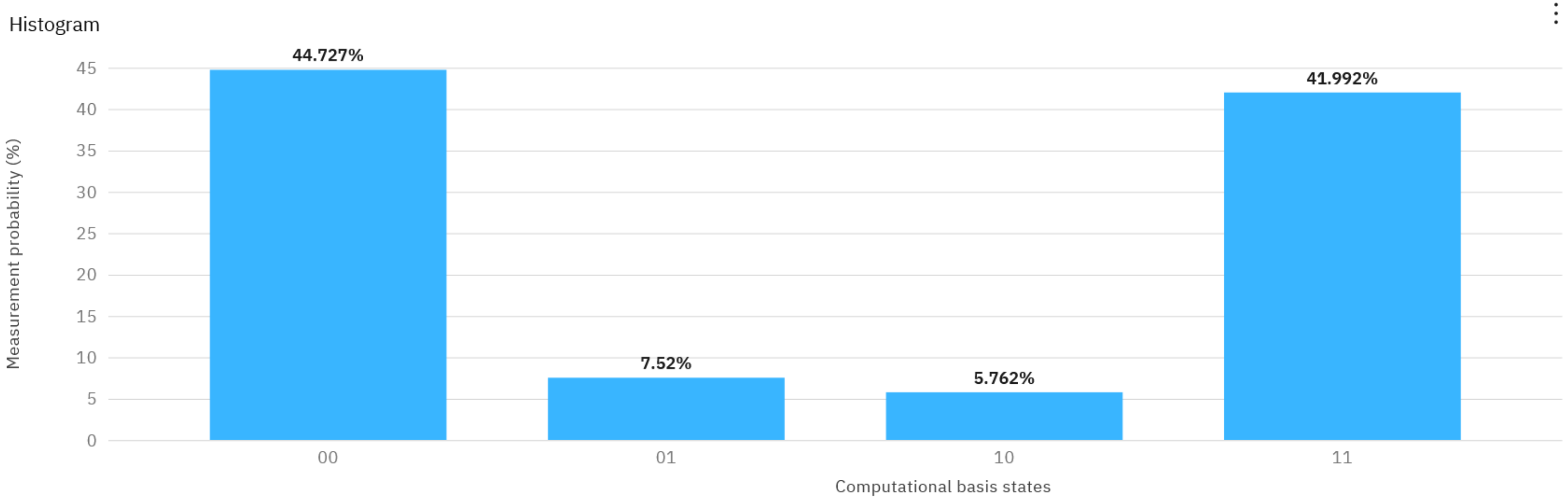
- Jobs submetidos para o computador quântico real podem demorar! Também é possível simular



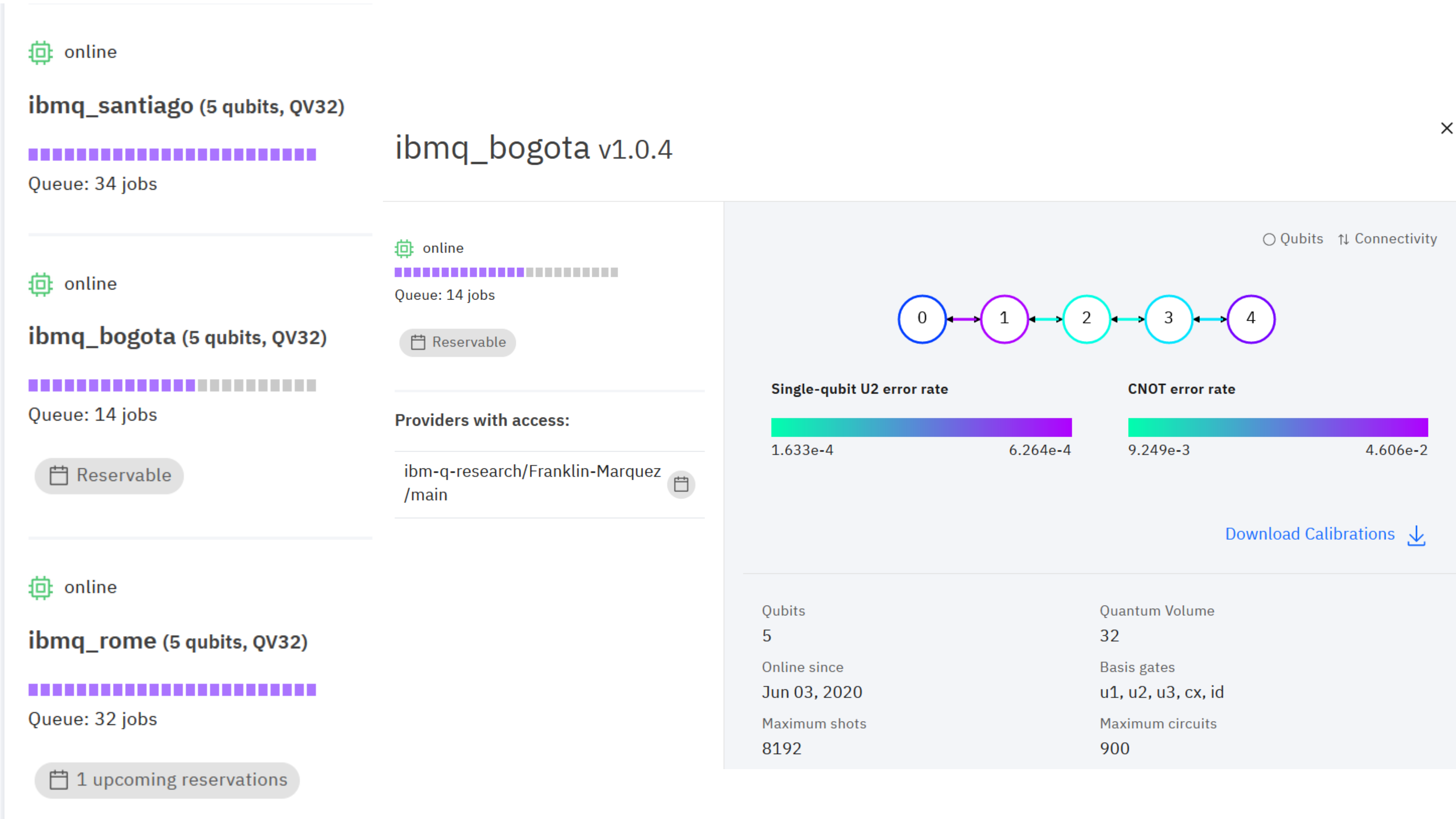
(C) IBM Quantum Experience.
Disclaimer: I am not an IBM Employee and I do not represent IBM.

Como ler os resultados

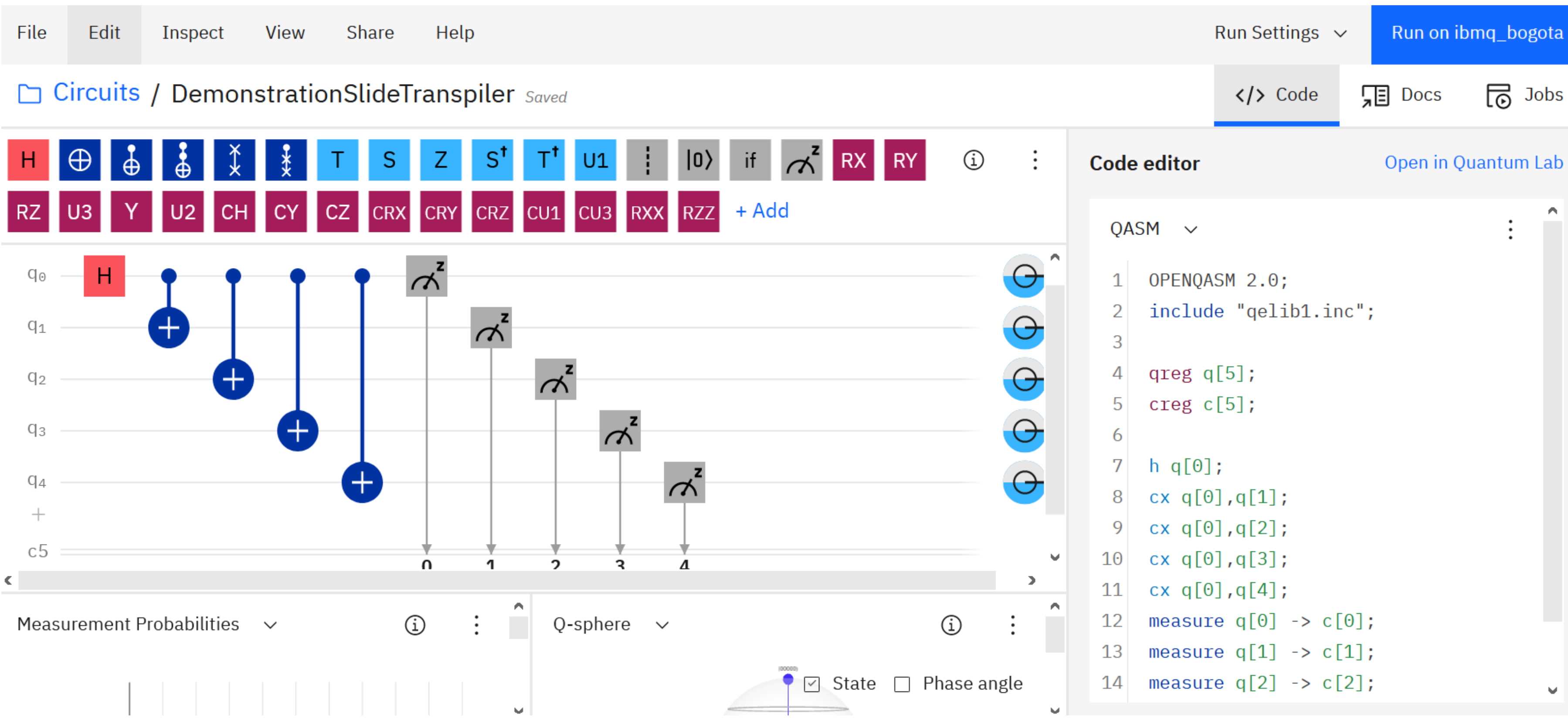
Result



Mapa de acoplamentos

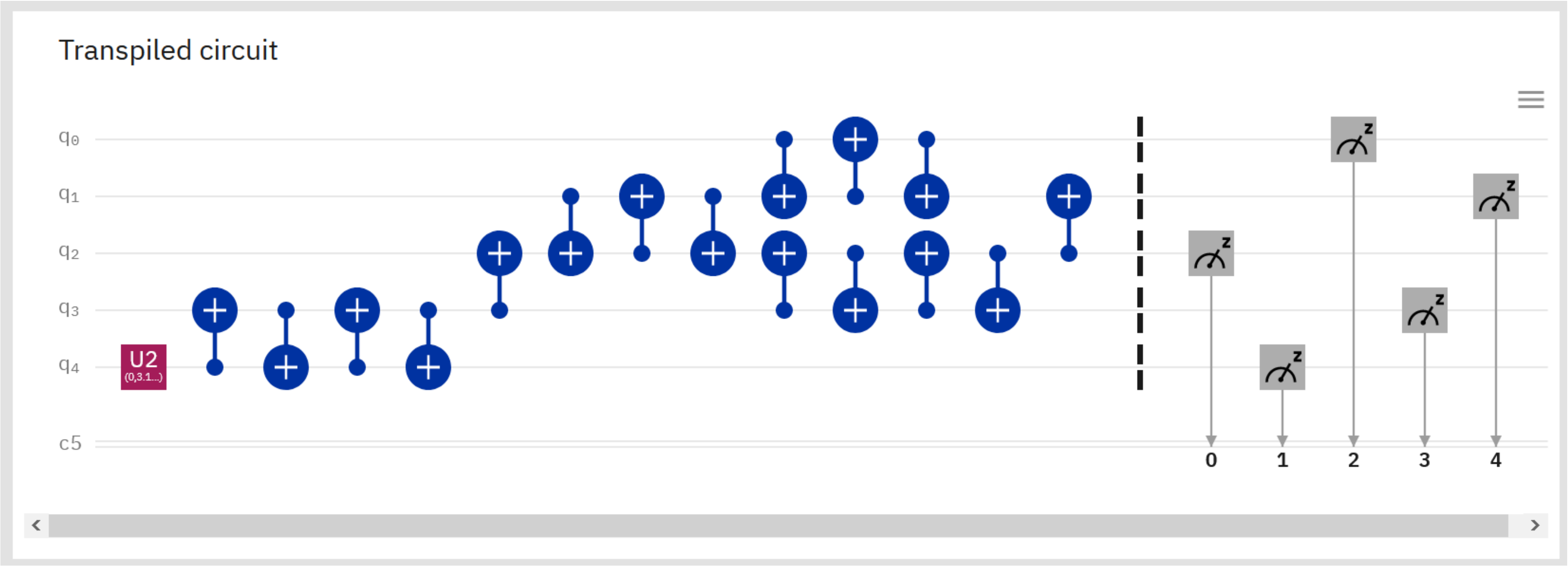


Programando em alto nível



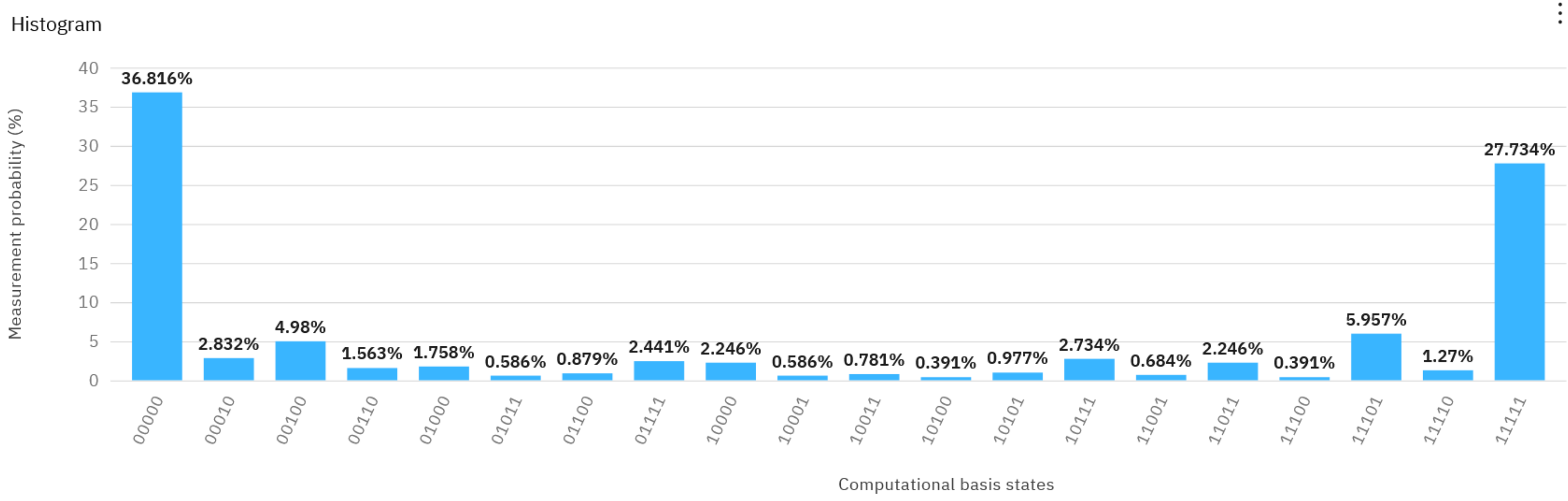
(C) IBM Quantum Experience.
Disclaimer: I am not an IBM Employee and I do not represent IBM.

Transpilação



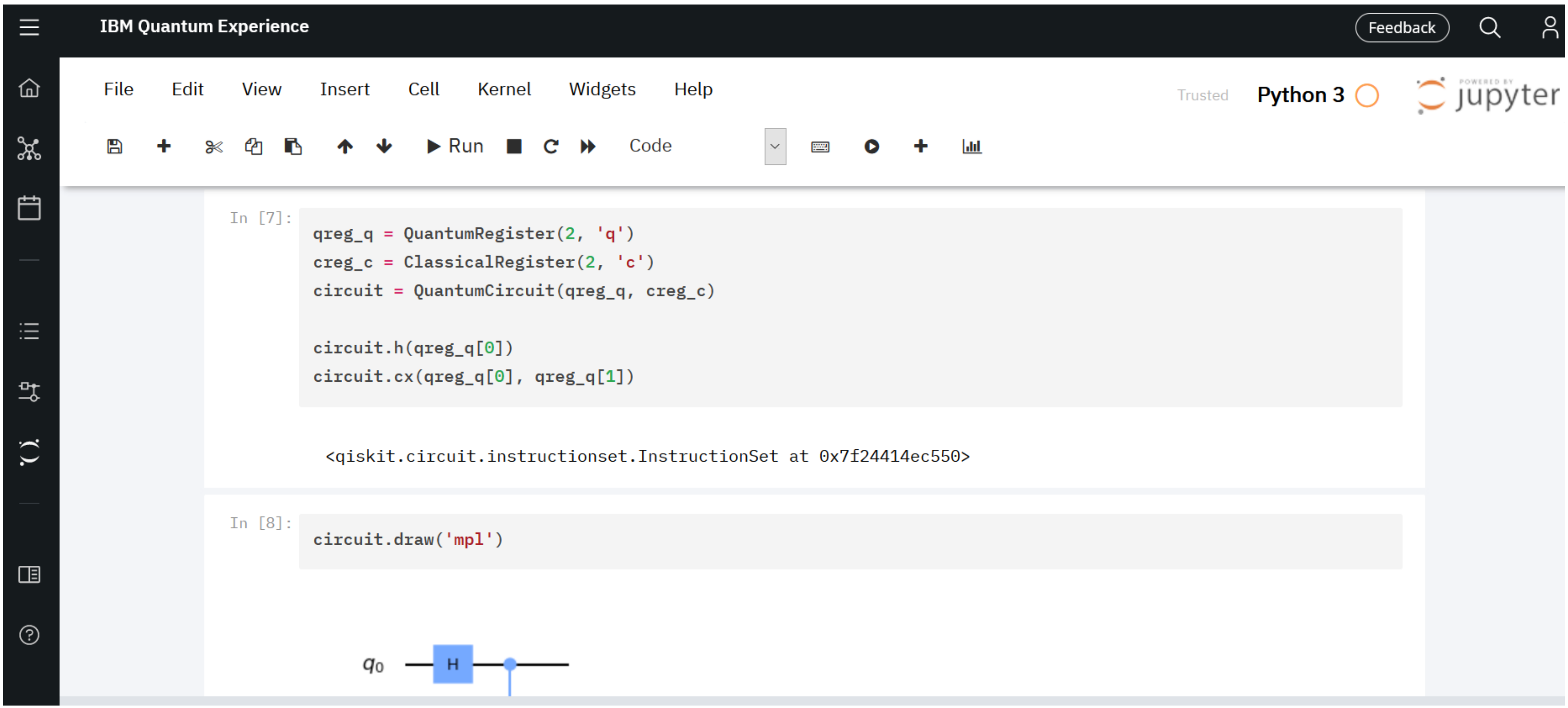
Resultado obtido pelo circuito transpilado

Result



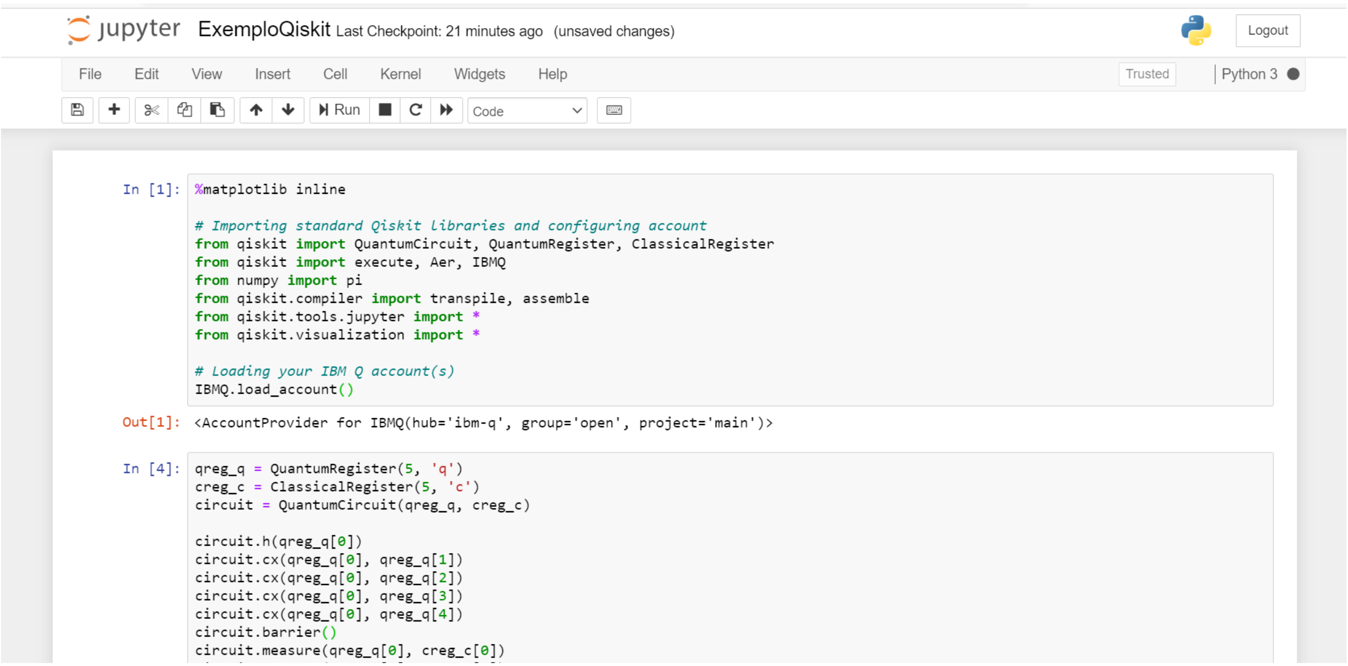
(C) IBM Quantum Experience.
Disclaimer: I am not an IBM Employee and I do not represent IBM.

Executando no Quantum Lab (Notebook)



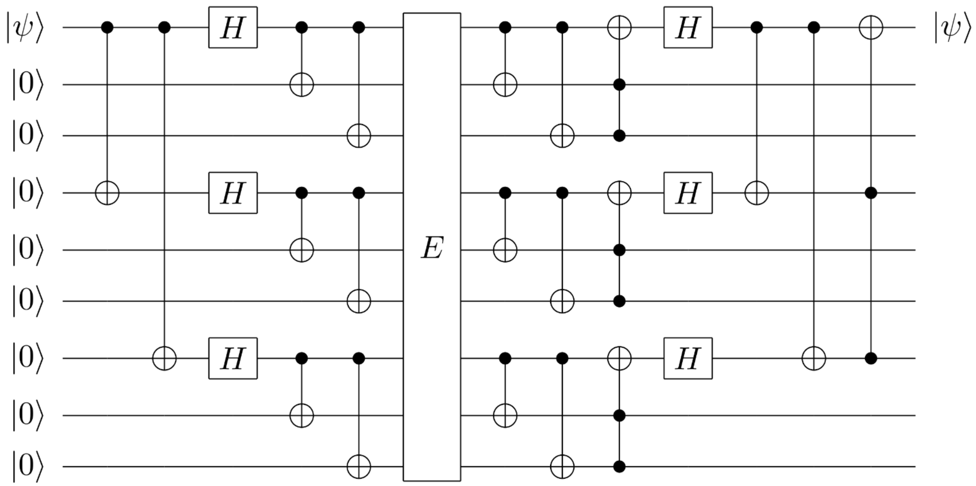
Executando localmente

- Necessário Python 3
- Recomendável Jupyter Notebook
- Baixe o qiskit em https://qiskit.org ou via pip install qiskit
- Recomendável pip install qiskit[visualization]



Correção de erros quânticos

- É possível corrigir erros
- Nós *devemos* corrigir erros de computadores quânticos
- Entretanto, é caro (requer muitos qubits)
- Taxa de erros precisa estar abaixo de um limiar



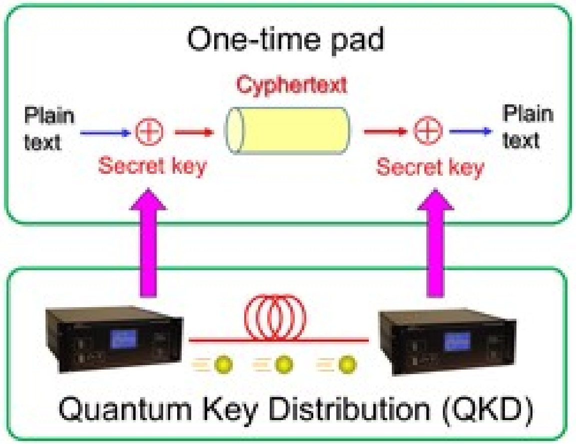
(*) Shor code: 1 logical qubit is mapped to 9 physical qubits.
Source: Wikipedia.

Algoritmos importantes

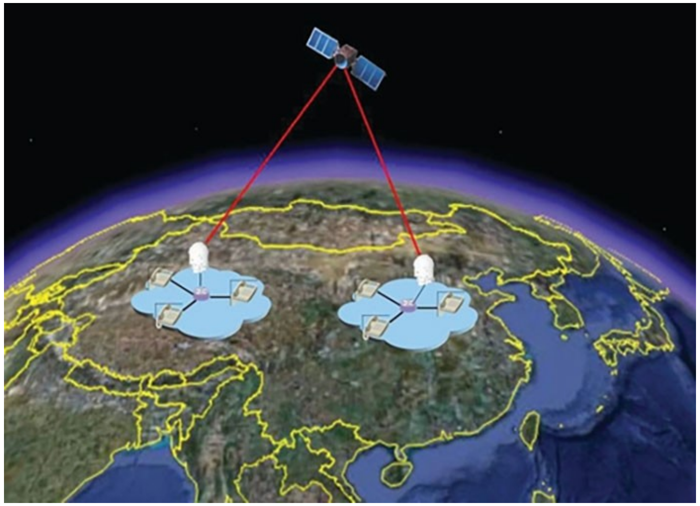
- **Algoritmos**
  - Shor (1994)
  - Grover (1996)
  - Element distinctness (2004)
  - HHL (2009)
- **Técnicas**
  - HSP
  - Amplitude amplification
  - Quantum walks
  - QAOA
  - Quantum annealing
- **Para uma lista completa veja http://quantumalgorithmzoo.org/**

Consequências para criptografia

- CQ quebra RSA
  (mas requer muitos qubits)
- Motiva a criptografia
  pós-quântica
- Novas oportunidades para troca de chaves e comunicação segura



(*) Source: www.nict.go.jp



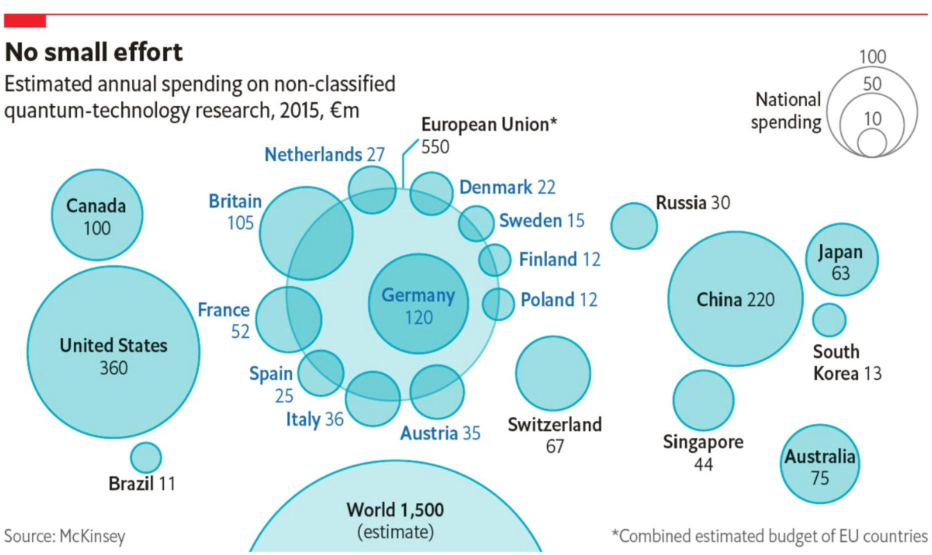
(*) Source: physicsworld.com

Como se preparar nessa área

- Graduação: matemática, computação, engenharia, física etc (várias possibilidades)
- Muita atenção aos cursos de Álgebra Linear
- Aprenda a programar os computadores quânticos da IBM (github programaquantica)
- Iniciação científica, se possível, é interessante!
- Mestrado/Doutorado

Conclusão

- QREI / Impacto limitado em negócios: próximos (quantos?) anos
- Correção de erros / Impacto mais amplo: médio/longo prazo
- Tolerância a falhas / Escala completa: longuíssimo prazo… paciência!
- Fiquem atentos! Muitas oportunidades na academia e na indústria



The New York Times

The Next Tech Talent Shortage: Quantum Computing Researchers

By Cade Metz

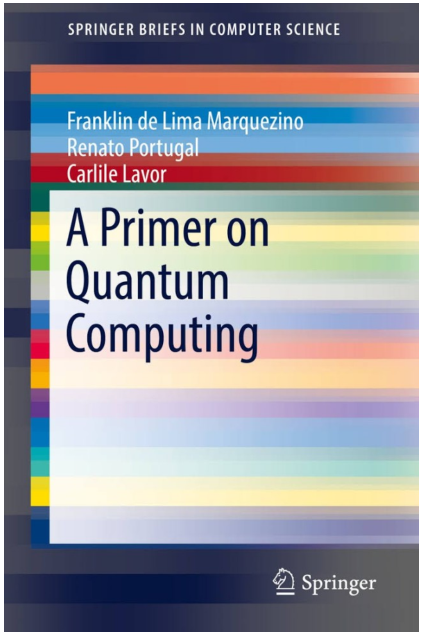
Oct. 21, 2018

Christopher Savoie, founder and chief executive of a start-up called Zapata, offered jobs this year to three scientists who specialize in an increasingly important technology called quantum computing. They accepted.

Several months later, the Cambridge, Mass., company was still waiting for the State

Para saber mais

- **Apostila**
  github.com/programaquantica
- **Livro**
  www.springer.com/gp/book/9783030190651
- **Seminário PESC**
  www.youtube.com/watch?v=MXovwCMx3uA%22



Obrigado!

Como Programar Computadores Quânticos Reais

Franklin de Lima Marquezino
Universidade Federal do Rio de Janeiro
franklin@cos.ufrj.br