



Minicurso - Introdução à Computação Quântica

Henrique Sobrinho Ghizoni

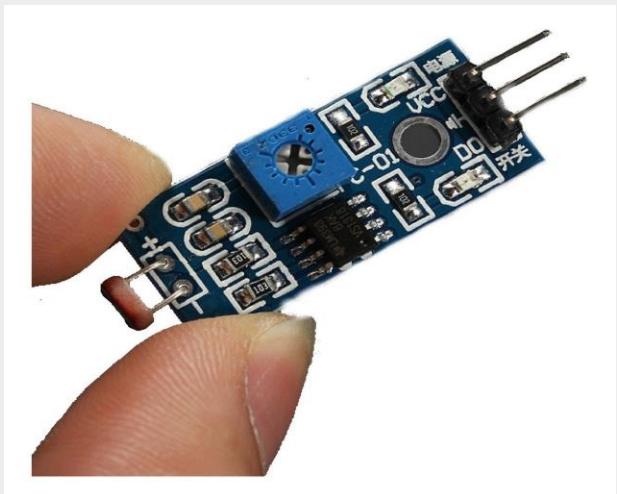
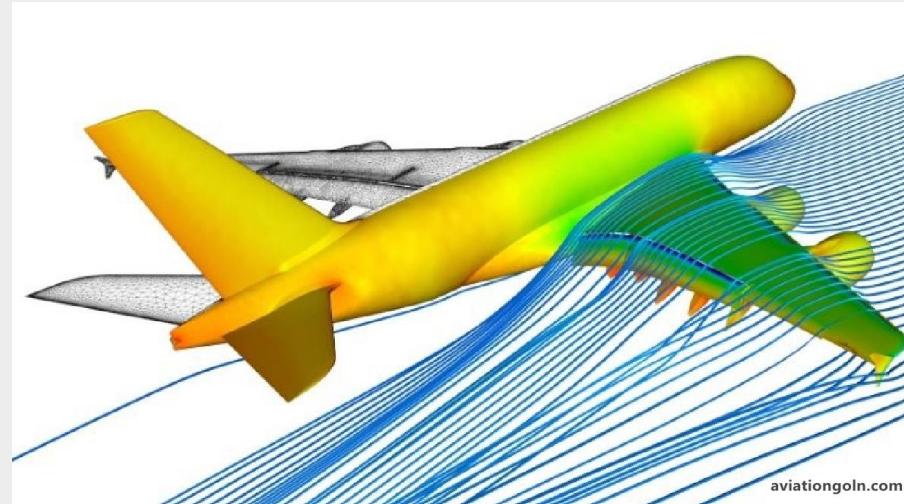
henrique.ghizoni@fbter.org.br

Yan Chagas

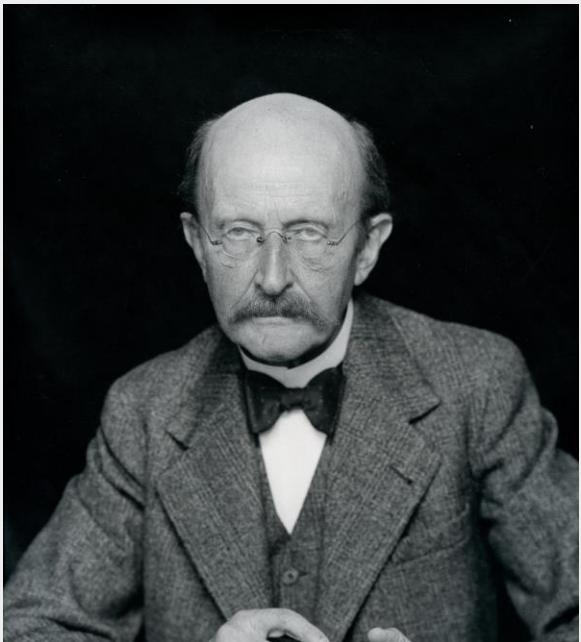
yan.chagas@fieb.org.br



Por quê Física Quântica?



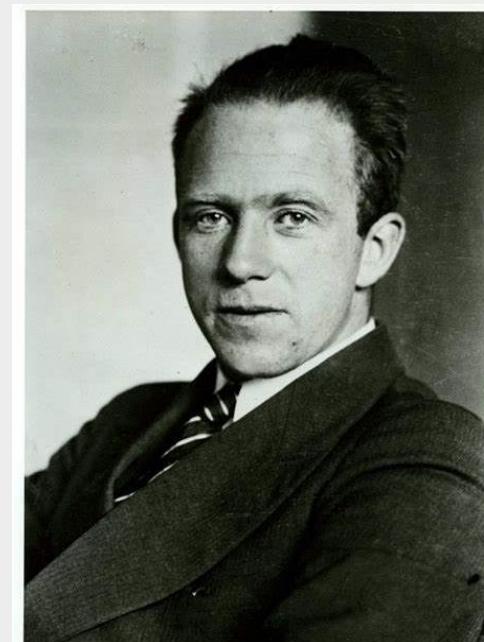
Por quê Física Quântica?



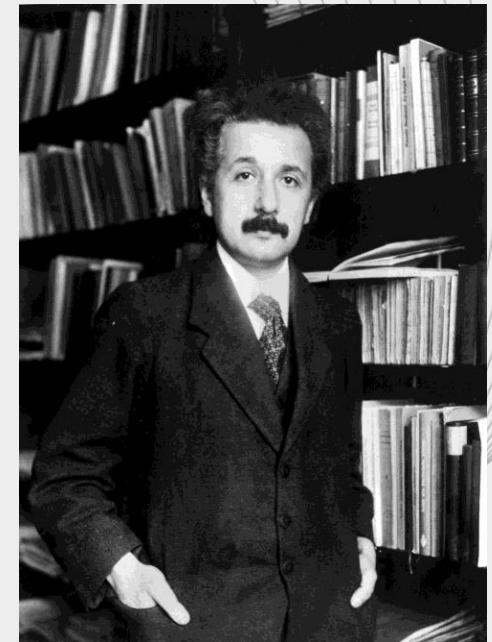
Max Planck



Louis De Broglie

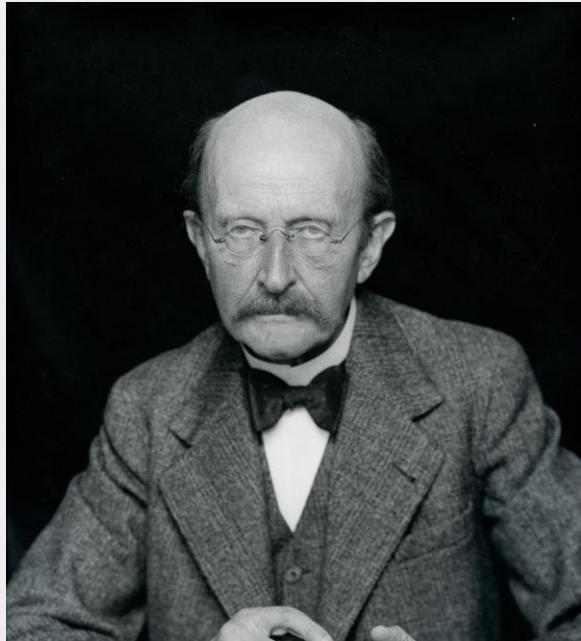


Werner Heisenberg



Albert Einstein

Por quê Física Quântica?



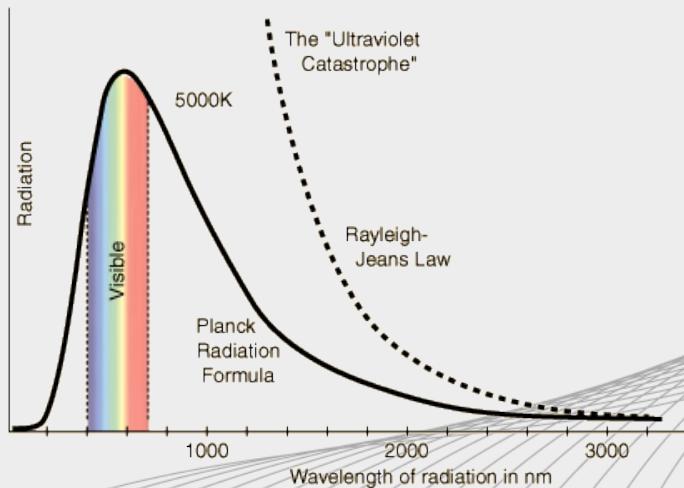
Max Planck

*Zur Theorie des Gesetzes
der Energieverteilung im Normalspectrum;
von M. Planck.*

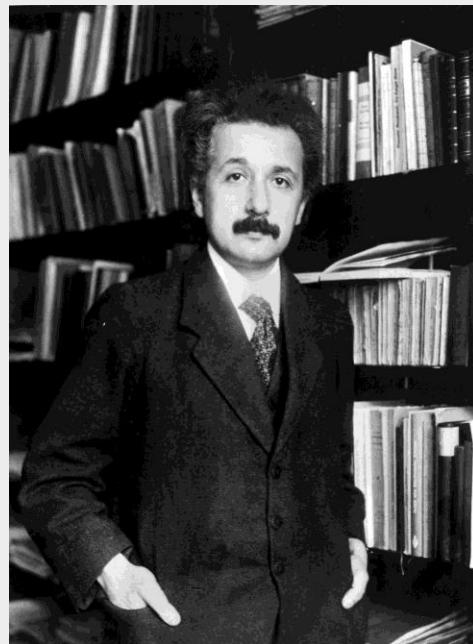
(Vorgetragen in der Sitzung vom 14. December 1900.)

(Vgl. oben S. 235.)

- Modelo para explicar as curvas de radiação de corpo negro utilizando discretização de energia



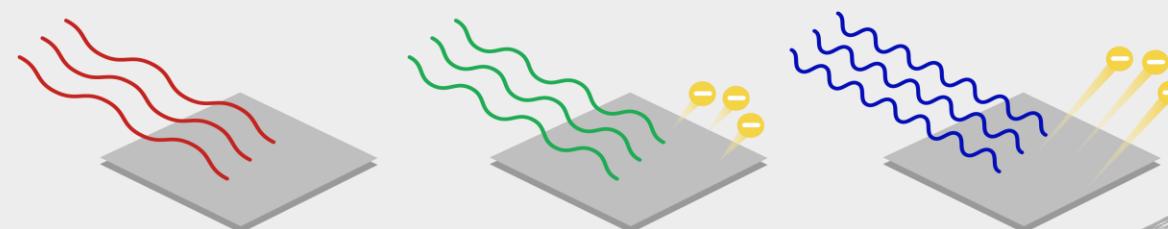
Por quê Física Quântica?



Albert Einstein

On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light (1905)
by Albert Einstein, translated by Wikisource

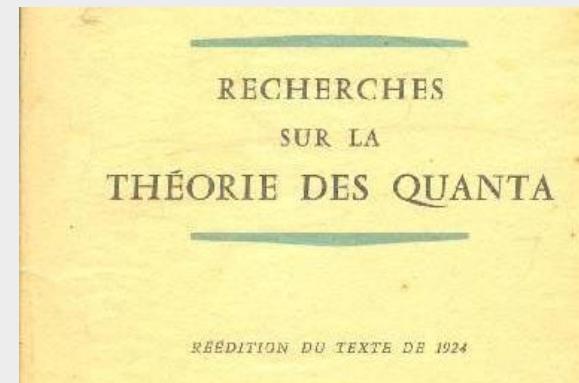
- Quantização da Luz
- Efeito fotoelétrico



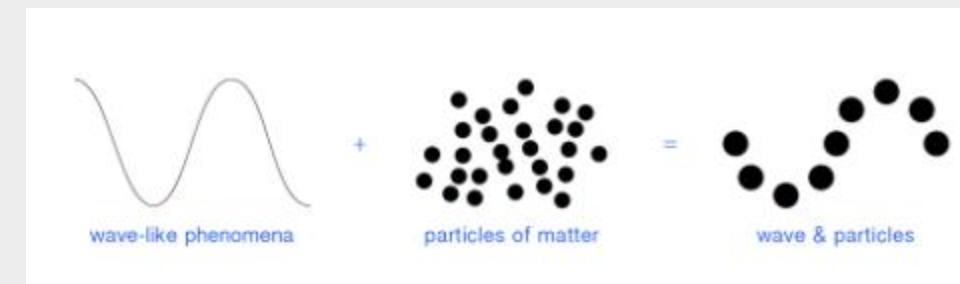
Por quê Física Quântica?



Louis De Broglie



- Dualidade onda-partícula
- Onda de matéria



Por quê Física Quântica? 2025 e os 100 anos da Teoria Quântica



Werner Heisenberg

“Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen,” Zeit. Phys. **33** (1925), 879-893.

On the quantum-theoretical reinterpretation of kinematical and mechanical relationships

By **W. Heisenberg** in Göttingen

(Received on 29 July 1925)

- Estruturação da teoria quântica
- Relações entre grandezas cruciais da então Mecânica Quântica

Por quê Física Quântica? 2025 e os 100 anos da Teoria Quântica

[Home](#)[About IYQ](#)[Newsroom](#)[Partners](#)[Events](#)[Get Involved](#)

100 YEARS OF QUANTUM IS JUST THE BEGINNING

What Is IYQ?



Recognizing the importance of quantum science and the need for wider awareness of its past and future impact, dozens of national scientific societies gathered together to support marking 100 years of quantum mechanics with a U.N.-declared international year.

On June 7, 2024, the United Nations proclaimed 2025 as the International Year of Quantum Science and Technology (IYQ). According to the proclamation, this year-long, worldwide initiative will “be observed through activities at all levels aimed at increasing public awareness of the importance of quantum science and applications.”

Anyone, anywhere can participate in IYQ by helping others to learn more about quantum on this centennial occasion, participating in or organizing an IYQ event, or simply taking the time to learn more about quantum science and technology.

[Get Involved →](#)

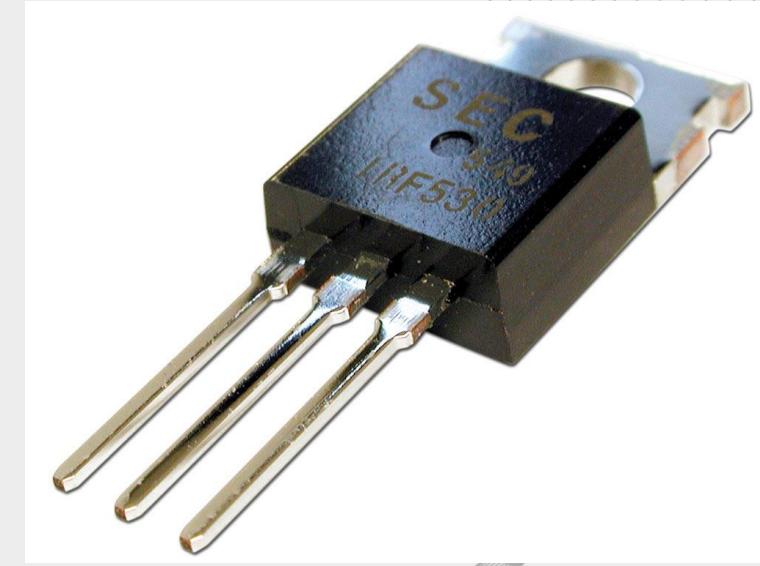
Tecnologias Quânticas de 1^a Geração



Laser e fotodetector



Vela automotiva

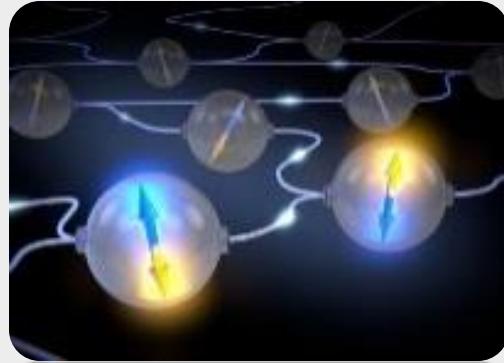


Transistor

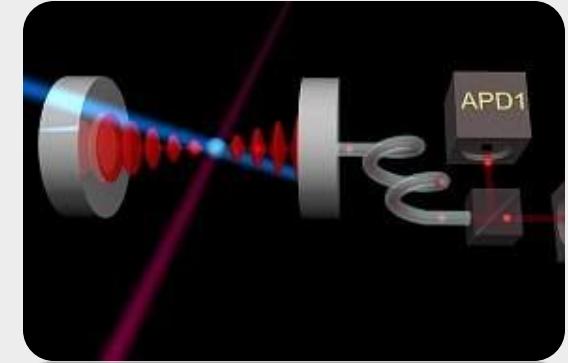
Tecnologias Quânticas de 2^a geração



Computação Quântica



Comunicação e Criptografia
Quântica

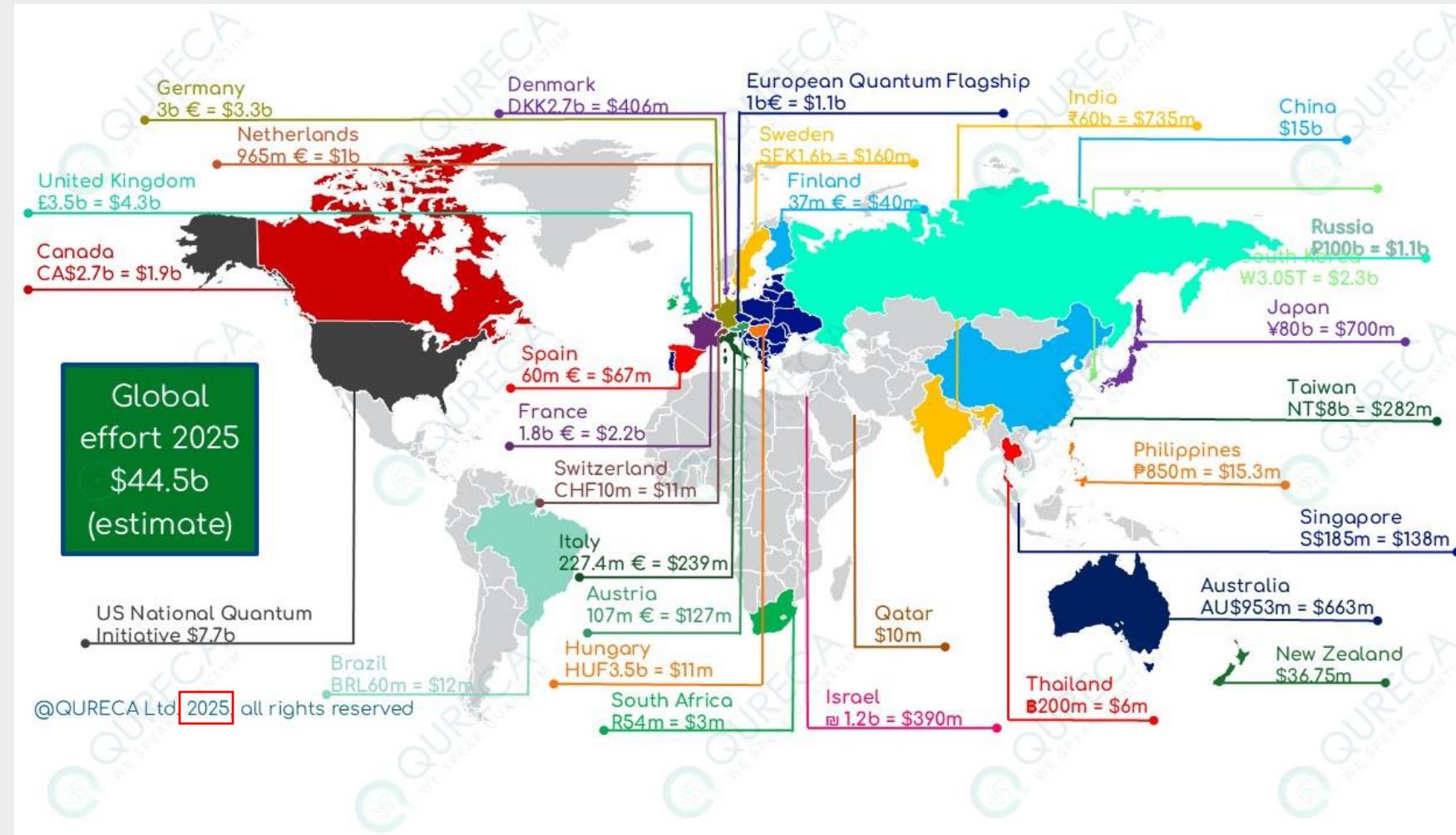


Sensores Quânticos

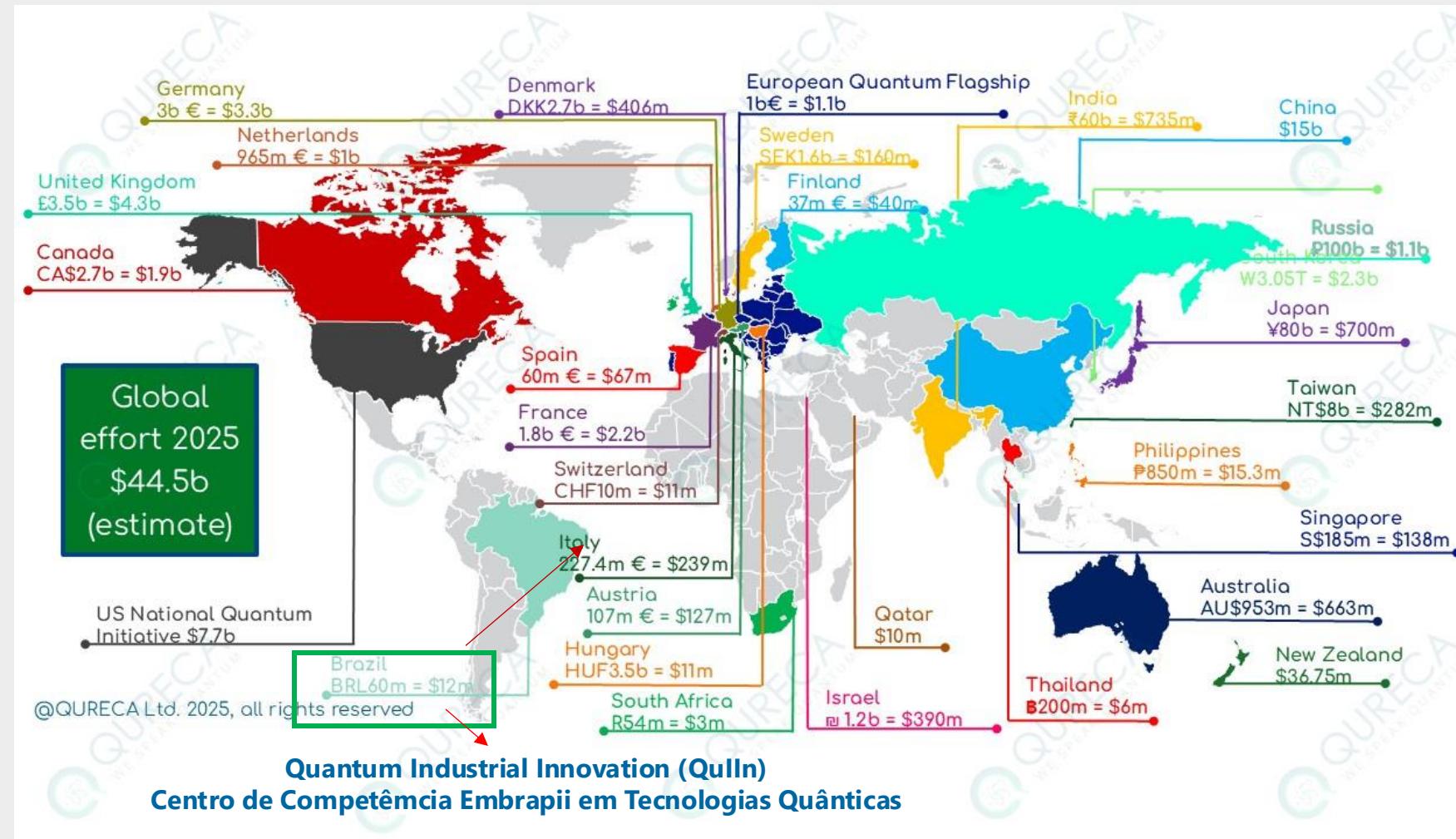


Informação Quântica & Princípios da Mecânica Quântica

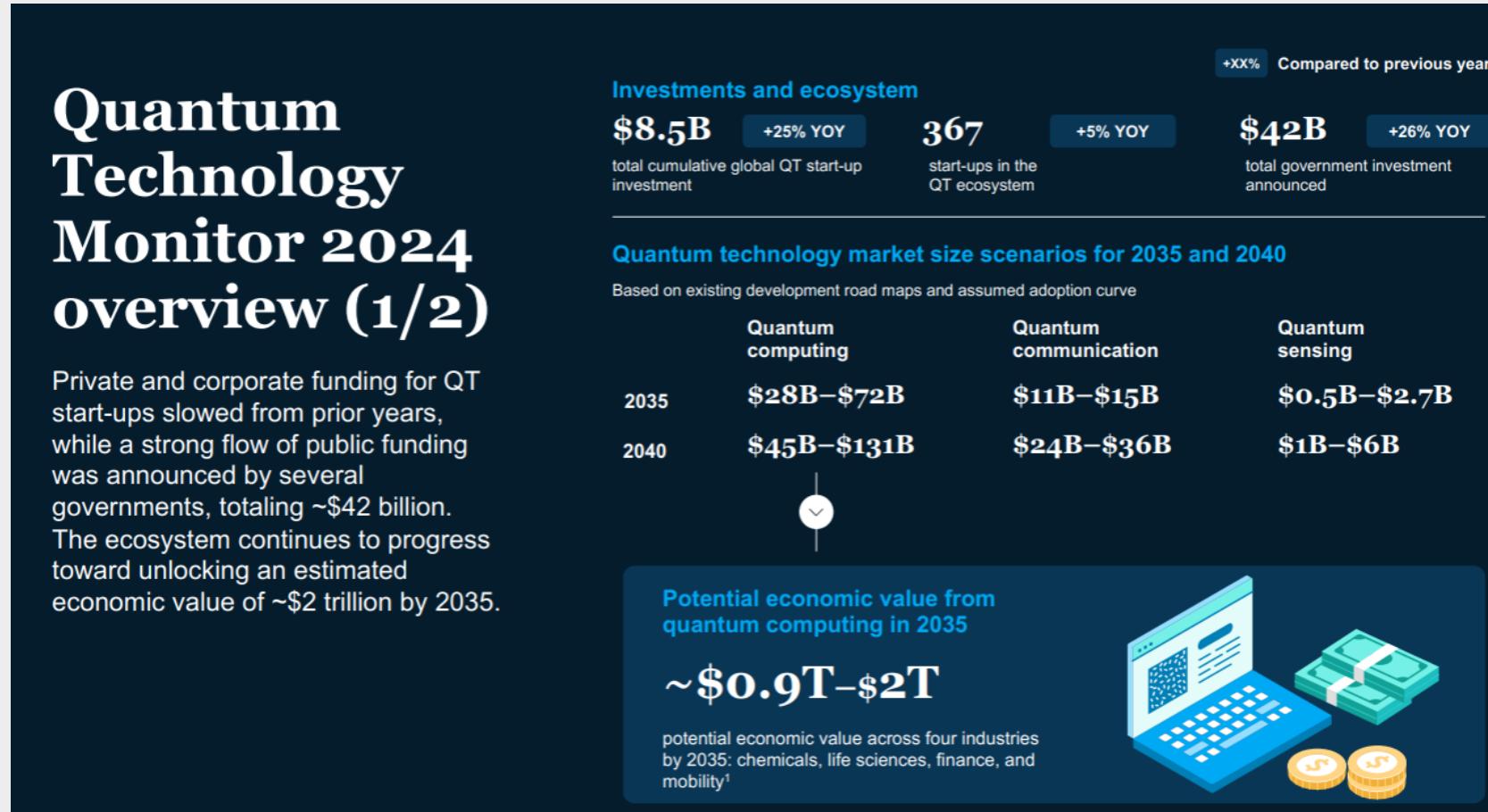
Investimentos em Tecnologias Quânticas



Investimentos em Tecnologias Quânticas

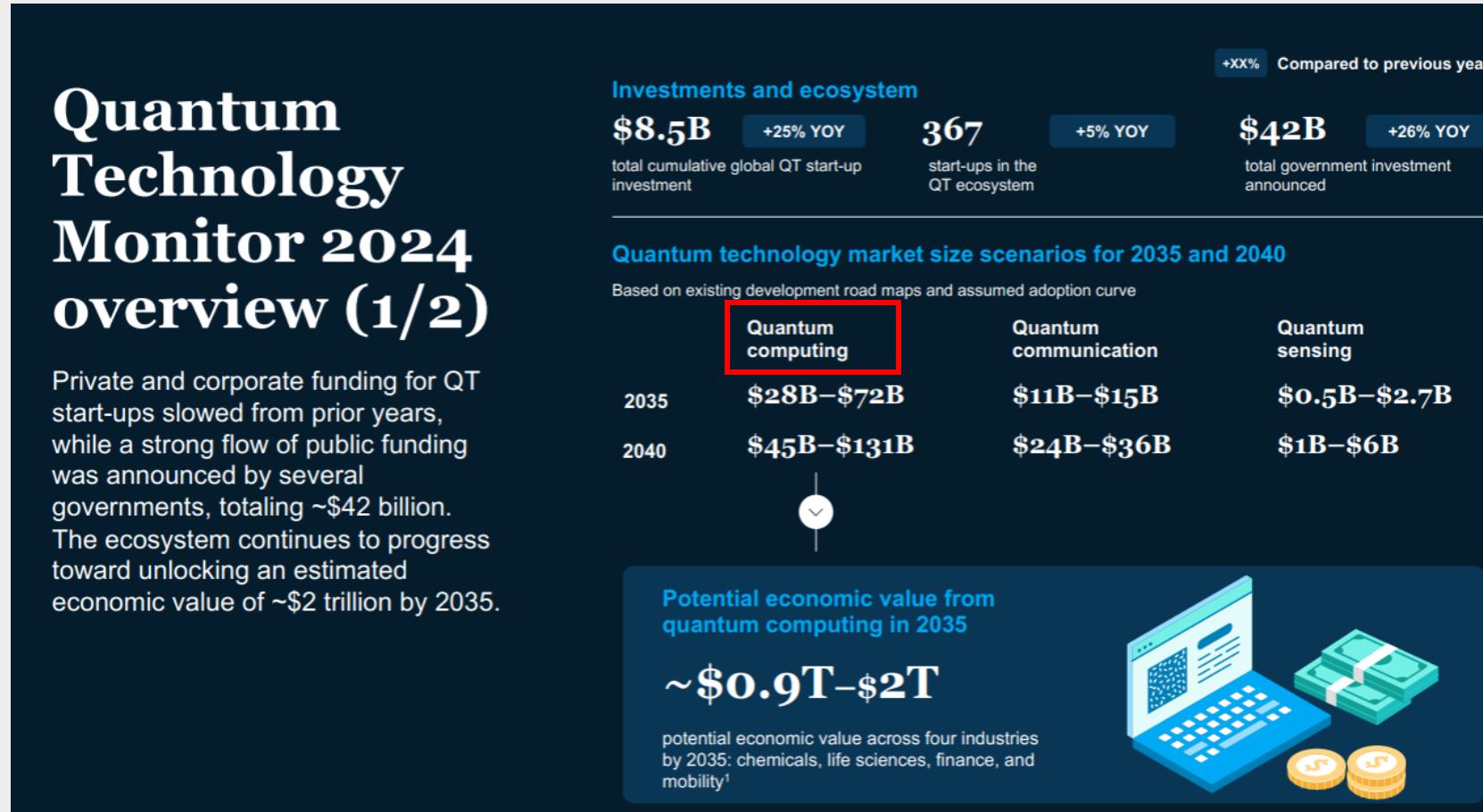


Investimentos em Tecnologias Quânticas



McKinsey & Company, Quantum technology monitor, abr. 2024.

Investimentos em Tecnologias Quânticas

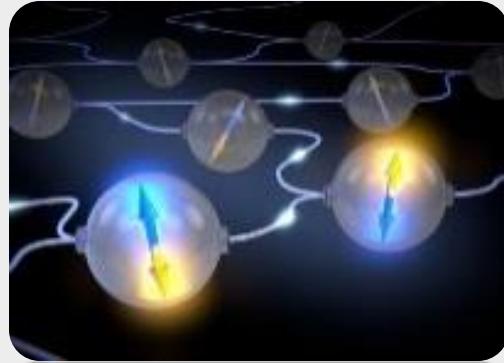


McKinsey & Company, Quantum technology monitor, abr. 2024.

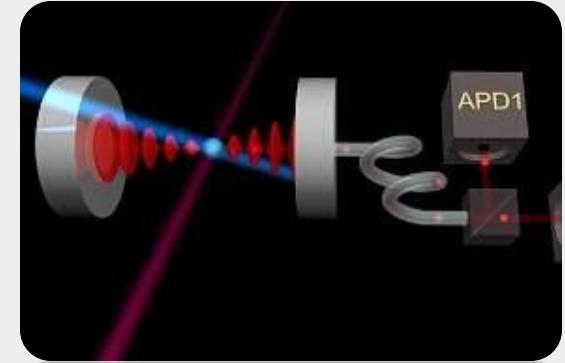
Tecnologias Quânticas de 2^a geração



Computação Quântica



Comunicação e Criptografia
Quântica



Sensores Quânticos



Informação Quântica & Princípios da Mecânica Quântica

Computação Clássica vs Computação Quântica

Computação Clássica

bits (0,1)

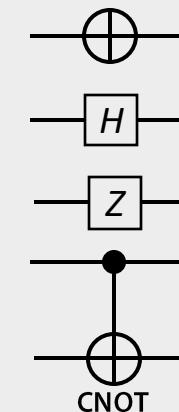
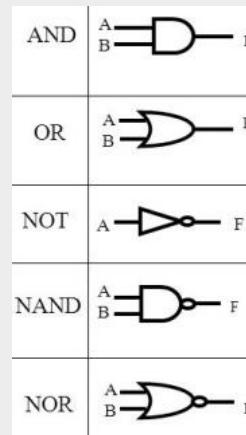
Operadores booleanos

representam *portas lógicas*



Saída

01011010001...



Computação Quântica

quantum bits : qubits (0 and 1)

qubit é um sistema quântico de 2 estados

Álgebra Linear, vetores e matrizes

representam *portas quânticas*

(e.g; NOT, Hadamard, phase shift, CNOT)

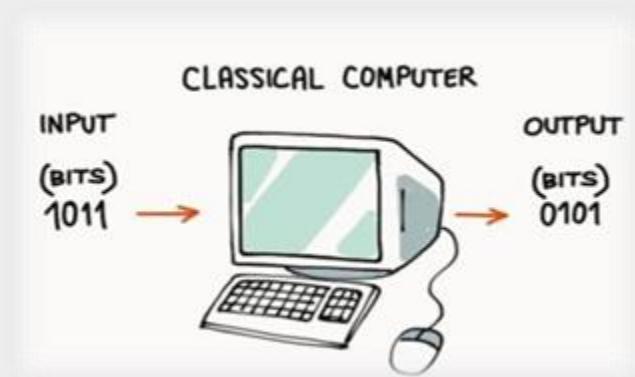


Medida



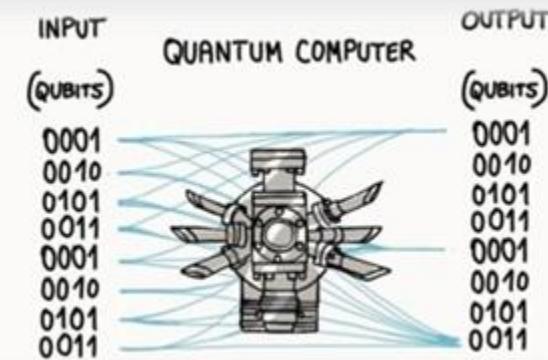
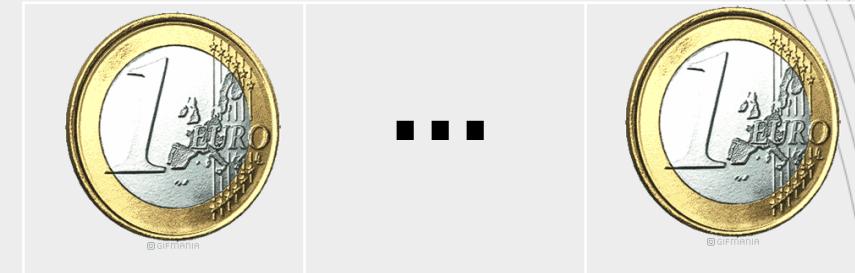
Computação Clássica vs Computação Quântica

bits clássicos ou “bits”: **1|0**



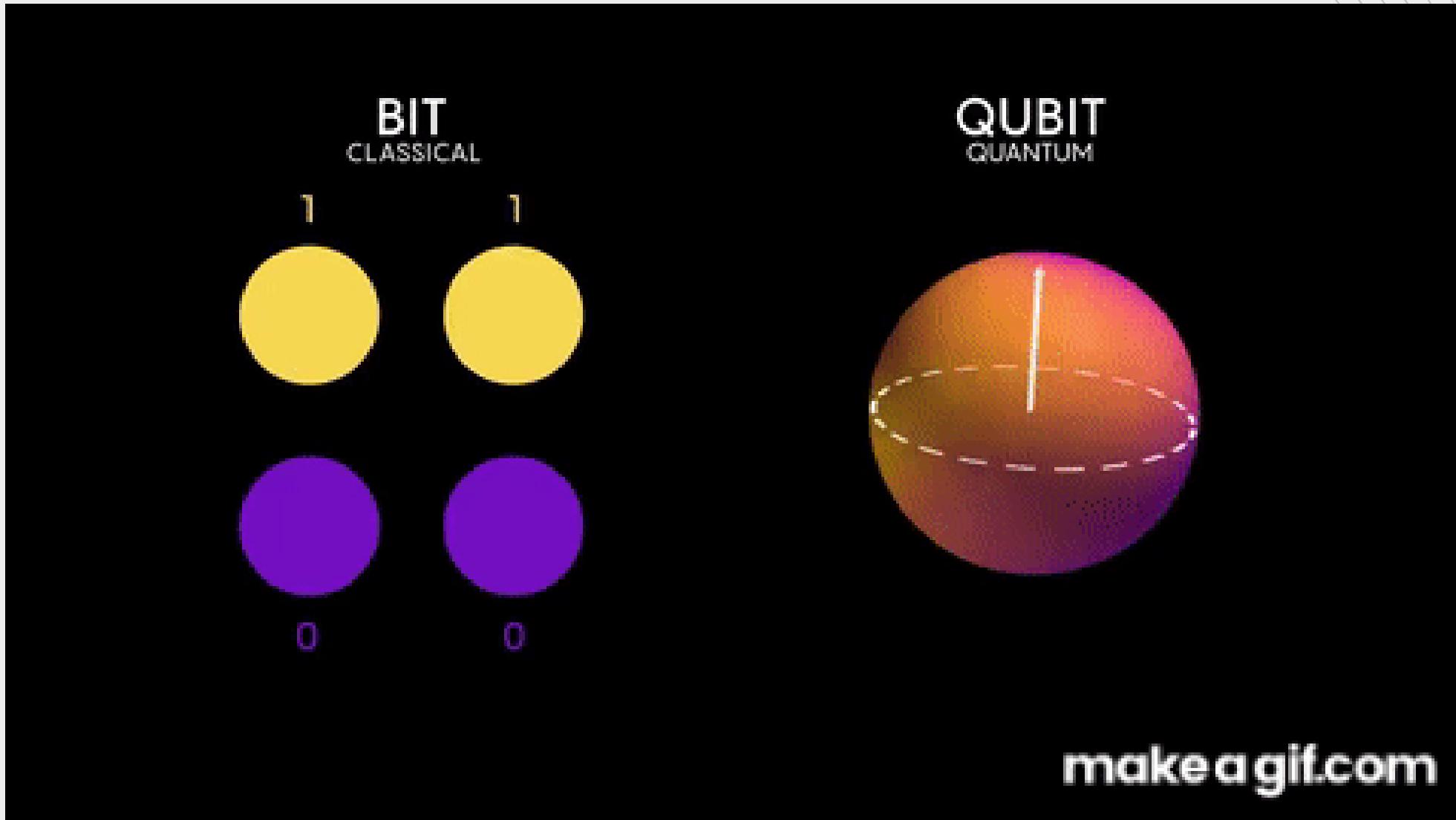
Informação: n bits → n saídas

bits quânticos ou “qubits”: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$



Informação: n qubits → 2^n estados

Computação Clássica vs Computação Quântica



Tipos de qubits

Quantum Annealing



Limited to optimization algorithms

Super-conducting



Trapped ions



Topological qubits



Photons



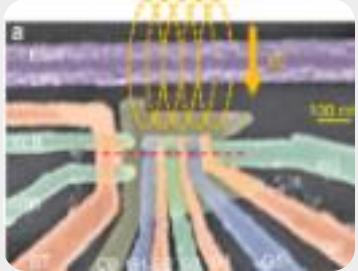
Silicon qubits



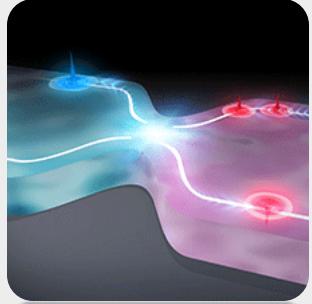
Misc.



Tipos de qubits



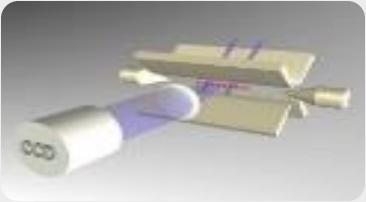
Spin



Supercondutores

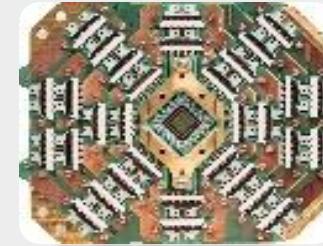
- Utiliza semicondutores
 - Base silício CMOS
 - Chip próximo de nm
- QuBit é um elétron
- Elétron que fica aprisionado num ponto quântico

- Circuito Ressonador
- Utilizam junções de Josephson
 - Operações em Irradiação de micro-ondas
- Criogenia ~ 10mK
- Escalabilidade Possível
- Necessário Correção de Erro



Íons

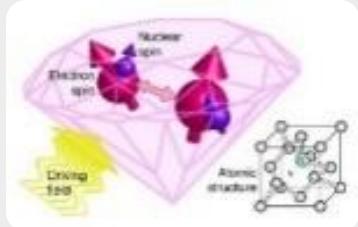
- Armadilha de Ions (Ion Trap)
 - Neste espaço que os lasers codificam os dados
- Manipulação feita por radiação de laser e micro-ondas
- Alta precisão para casar frequências da radiação com os espaçamentos do nível de energia



Quantum Annealing

- Usa de base Anéis Supercondutores
- Chip base de nióbio
- Alta escalabilidade
- Baseado a computação adiabática
- Vácuo para controle térmico
- Blindagem Magnética e Radiação.

Tipos de qubits



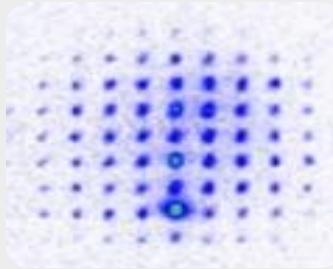
Diamantes

- Vacância de nitrogênio (NV) em diamantes
- Criogenia ~4K
- Longo tempo de decoerência do QuBit
- Escalabilidade baixa



Fotônicos

- Usa conjunto de fótons como QuMods
 - Faz uso de variáveis contínuas
 - Operações são feitas através de pulsos de laser
 - Pode funcionar em temperatura ambiente
 - Possibilidade de integrar com a rede de fibra óptica
 - Fótons tem baixa decoerência



Topológicos

- Partículas anyons (quasipartícula)
- Propriedades (fusão e trança) que se relacionam com a topologia do sistema físico
- Tolerante a Falhas
- Dificuldade de Produzir Experimentalmente



Átomos Neutros

- Usa átomos para armazenar o qubit
- Aprisionado com feixes de laser
- Os átomos não tem carga
- Tecnologia ainda em Desenvolvimento
- Dificuldade de resfriamento a laser
- Manipulação atômica

Computador Quântico Supercondutor



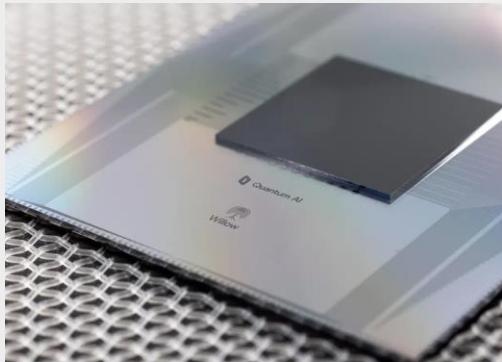
Foto: Computador Quântico da Google



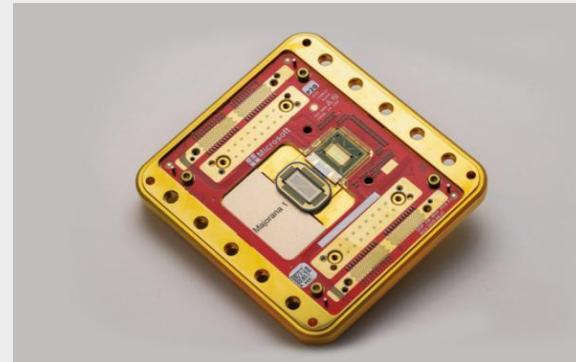
Foto: Computador Quântico da IBM



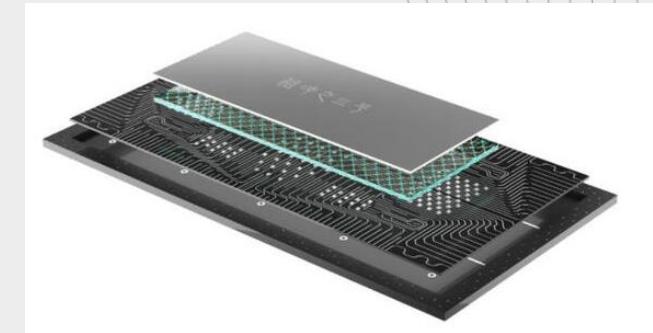
Computação Quântica



Willow (Google)
Supercondutor
Dez. 2024



Majorana 1 (Microsoft)
Topológico
Fev. 2025



Zuchongzhi-3 (USTC)
Supercondutor
Mar. 2025

Aplicações de Computação Quântica

Há diversas aplicações que podem ser exploradas pela computação quântica, entre elas:

- Finanças 

Quantum Finance: um tutorial de computação quântica aplicada ao mercado financeiro

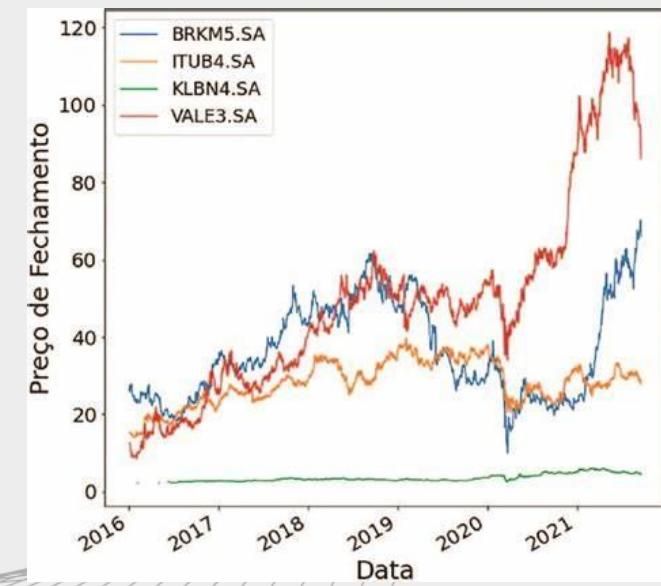
Askery Canabarro,^{1,2,*} Taysa M. Mendonça,¹ Ranieri Nery,¹ George Moreno,¹ Anton S. Albino,³ Gleydson F. de Jesus,³ and Rafael Chaves^{1,4,†}

¹*Instituto Internacional de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, P. O. Box 1613, Natal-RN, Brasil*
²*Grupo de Física da Matéria Condensada, Núcleo de Ciências Exatas - NCEx, Campus Arapiraca, Universidade Federal de Alagoas, 57309-005, Arapiraca-AL, Brasil*
³*Latin American Quantum Computing Center/Senai Cimatec, Salvador-BA, Brasil*
⁴*School of Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Norte, 59078-970 Natal, Brazil*

Quantum computing for finance: Overview and prospects

Román Orús^{a,b,c,d*}, Samuel Mugel^{d,e}, Enrique Lizaso^d

^a*Institute of Physics, Johannes Gutenberg University, Mainz 55099, Germany*
^b*Donostia International Physics Center, Paseo Manuel de Lardizabal 4, San Sebastián E-20018, Spain*
^c*Ikerbasque Foundation for Science, Maria Diaz de Haro 3, Bilbao E-48013, Spain*
^d*Quantum for Quants Commission, Quantum World Association, Barcelona, Spain*
^e*The Quantum Revolution Fund, Carrer de l'Escar 26, Barcelona 08039, Spain*



Aplicações de Computação Quântica

Há diversas aplicações que podem ser exploradas pela computação quântica, entre elas:

Otimização logística

Quantum Computing Applications for Flight Trajectory Optimization

Henry Makhanov*, †‡, Kanav Setia*, Junyu Liu*‡§¶||, Vanesa Gomez-Gonzalez**, Guillermo Jenaro-Rabadan**

*qBraid Co., Chicago, IL 60615, USA

†Department of Computer Science, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA

‡Pritzker School of Molecular Engineering, The University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

§Department of Computer Science, The University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

¶Chicago Quantum Exchange, Chicago, IL 60637, USA

||Kadanoff Center for Theoretical Physics, The University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

**Acubed, Airbus, 601 W California Ave, Sunnyvale, CA 94086

E-mail: †‡makhanov@utexas.edu

Quantum Computing in Supply Chain Management State of the Art and Research Directions

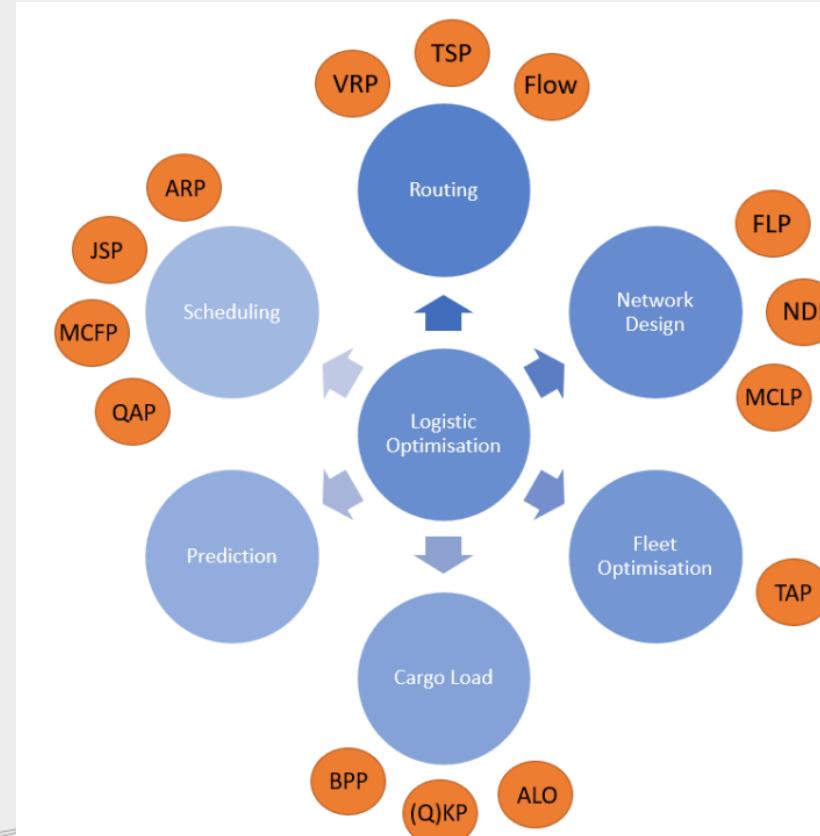
Phillip Gachnang^{1*}, Joachim C.F. Ehrenthal², Thomas Hanne³, Rolf Dornberger⁴

^{1,3} Institute for Information Systems, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Olten, Switzerland, philipp.gachnang@fhnw.ch; thomas.hanne@fhnw.ch

² Institute for Information Systems, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Brugg, Switzerland, joachim.ehrenthal@fhnw.ch

³ Institute for Information Systems, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Basel, Switzerland, rolf.dornberger@fhnw.ch

*corresponding author



Aplicações de Computação Quântica

Há diversas aplicações que podem ser exploradas pela computação quântica, entre elas:

Descoberta de novos materiais e fármacos

REVIEW | October 22, 2020

Quantum Algorithms for Quantum Chemistry and Quantum Materials Science

Bela Bauer*, Sergey Bravyi*, Mario Motta*, and Garnet Kin-Lic Chan*

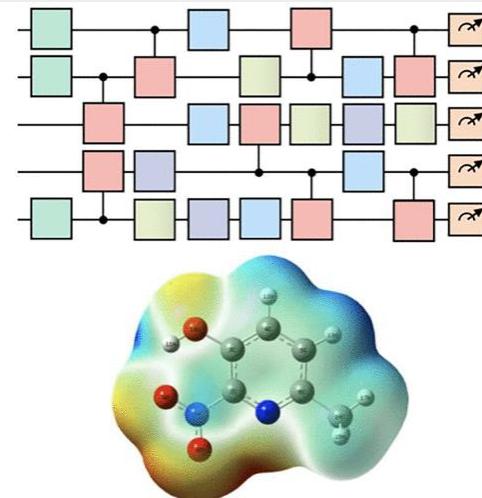
Potential of quantum computing for drug discovery

Publisher: IBM

Cite This



Y. Cao  ; J. Romero ; A. Aspuru-Guzik All Authors



Aplicações de Computação Quântica

Há diversas aplicações que podem ser exploradas pela computação quântica, entre elas:

Aplicações Industriais

Industry quantum computing applications

Quantum Technology and Application Consortium – QUTAC^{1*}, Andreas Bayerstadler⁸, Guillaume Becquin⁸, Julia Binder⁶, Thierry Botter¹², Hans Ehm⁶, Thomas Ehmer⁷, Marvin Erdmann³, Norbert Gaus¹⁰, Philipp Harbach⁷, Maximilian Hess⁶, Johannes Klepsch³, Martin Leib¹¹, Sebastian Luber⁶, Andre Luckow³, Maximilian Mansky⁷, Wolfgang Mauerer¹⁰, Florian Neukart¹¹, Christoph Niedermeier¹⁰, Lilly Palackal⁶, Ruben Pfeiffer⁶, Carsten Polenz⁹, Johanna Sepulveda¹², Tammo Sievers⁶, Brian Stander², Michael Streif⁴, Thomas Strohm⁵, Clemens Utschig-Utschig⁴, Daniel Volz², Horst Weiss² and Fabian Winter⁸

Mitigating 5G security challenges for next-gen industry using quantum computing

Cherry Mangla^a, Shalli Rani^{a,*}, Nawab Muhammad Faseeh Qureshi^{b,*}, Aman Singh^{c,d,e}

^a Chitkara University Institute of Engineering and Technology, Chitkara University, Rajpura 140401, Punjab, India

^b Department of Computer Education, Sungkyunkwan University, Seoul, 03063, Republic of Korea

^c Higher Polytechnic School, Universidad Europea del Atlántico, C/Isabel Torres 21, 39011 Santander, Spain

^d Department of Project Management, Universidad Internacional Iberoamericana, Campeche C.P. 24560, Mexico

^e Department of Engineering, Universidad Internacional Iberoamericana, Arecibo 00613, Puerto Rico, U.S.

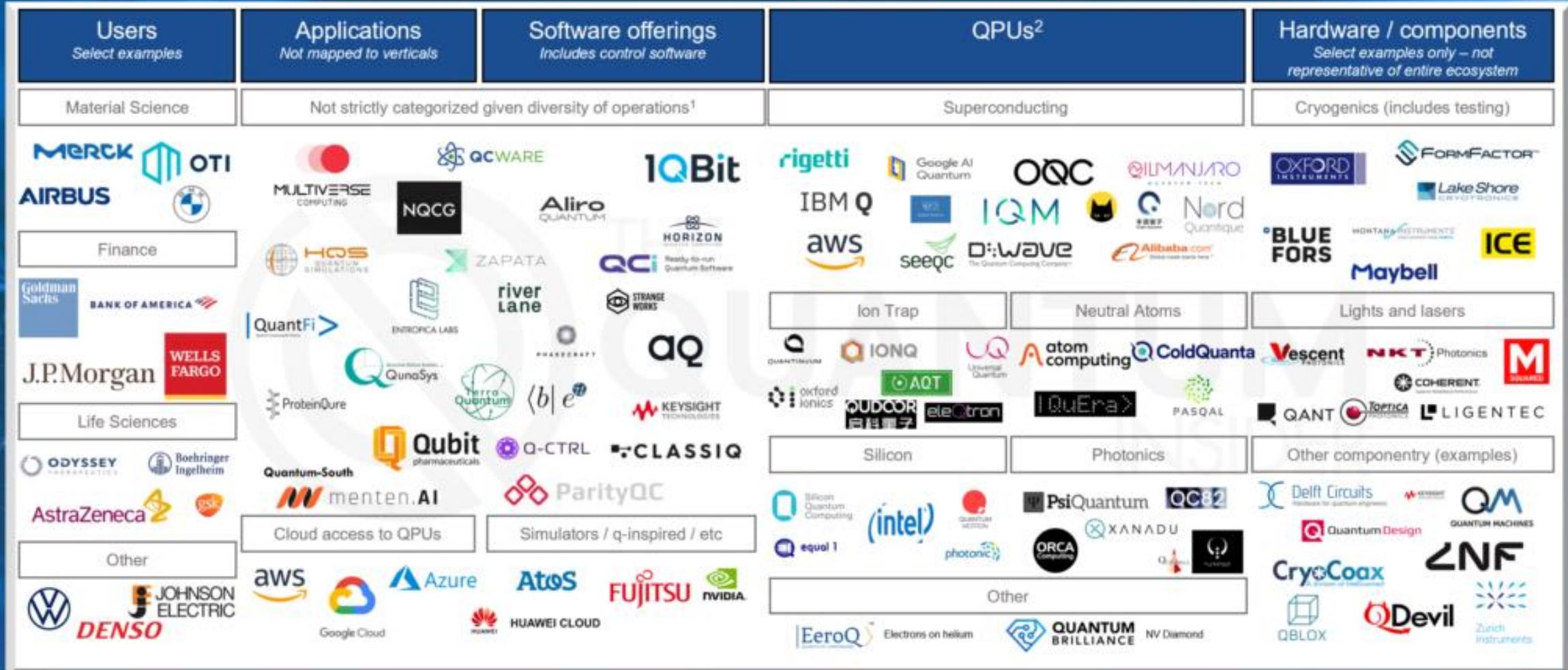
APPLICATION-DRIVEN USE CASE LANDSCAPE

INDUSTRY	MATERIAL SCIENCE	ENGINEERING & DESIGN	PRODUCTION & LOGISTICS	POST QUANTUM ERA SECURITY
				
BUSINESS IMPACT	<ul style="list-style-type: none">Discovery of new candidates for drugs and materials with better propertiesReduced time-to-marketReduced number of real-world trials	<ul style="list-style-type: none">Improved model and simulation quality leads to better productsFaster time-to-solution provides process efficiencies	<ul style="list-style-type: none">Faster and more efficient production and supply chain managementImproved qualityReduced emissions	<ul style="list-style-type: none">Long-term data protectionSecure communication



Quantum Computing Market Map

Non exhaustive and in no particular order. Excludes details on control systems, assembly languages, circuit design, etc.



¹ Software offerings can be further classified into SDKs, firmware / enablers, algorithms / applications, simulators etc. but many companies are offering a mixture across the stack

² Many QPU providers are offering full stack services (e.g. Pasqal acquired Qu&Co, Quantinuum was originally CQC prior to merger with HQS, etc.)

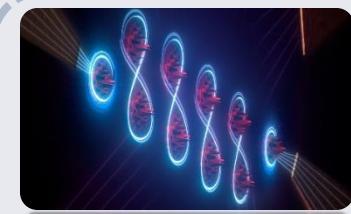
Visão e Missão do LAQCC

LAQCC

Latin America Quantum Computing Center



Computação Quântica



Algoritmos Quânticos



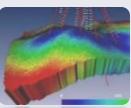
Simulação Quântica



Finanças



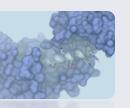
Energia



Petróleo



Inteligência Artificial



Química



Manufatura



Comunicações



Otimização



Saúde



Recursos & Serviços

Missão: Conectar a Computação Quântica com a Indústria



Comunicação e Critopografia



Hardware



Sensores

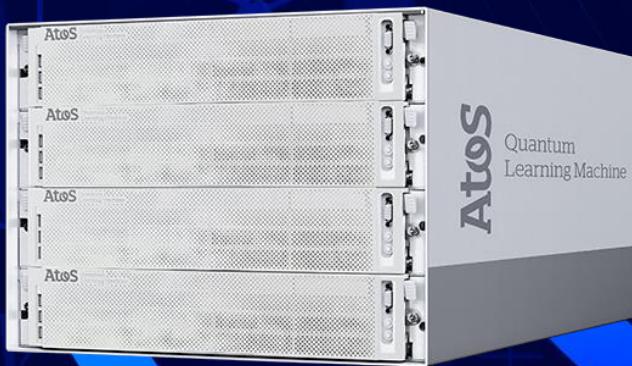
Mover aplicações industriais para a computação quântica

Prova de valor para a Indústria

SENAI CIMATEC
LATIN AMERICA
QUANTUM COMPUTING CENTER

K·U·A·T·O·M·U

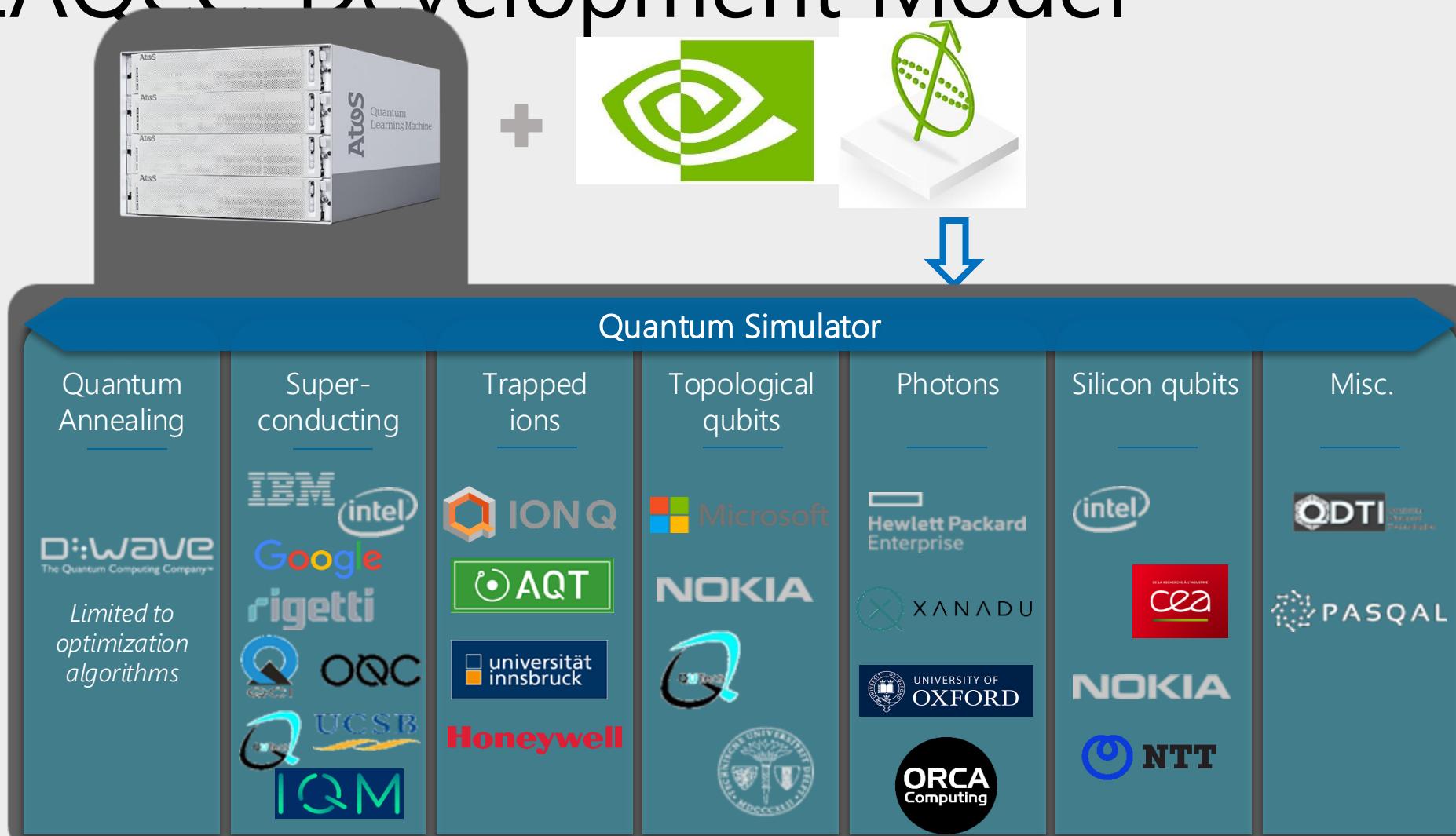
SIMULADOR QUÂNTICO



KUATOMU Quantum Emulator

- 1st Latin America ATOS Quantum Learning Machine (QLM)
- Up to 35 QuBits
- Programming, Optimization and Simulation
- pyAQASM multi compatible
- Advanced simulation
- Noise modelling
- Interoperability with: Qiskit, ProjectQ, Rigetti, D-wave, IQM, IONQ, Cirq, Q#, SQC, CQC

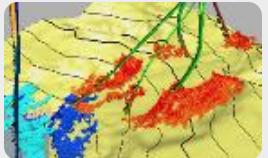
LAOCC Development Model



* Partnerships under development
** Contracts and Academic use

LAQCC: Projetos

Petróleo & Gás



- Geofísica e Sísmica
- Inversão e Imageamento



Finanças

- Otimização de Portfólios
- Risco de Crédito
- Detecção de Fraudes
- Seleção de Características

Inteligência Artificial



- Redes Neurais Quânticas
- Redes Adversariais Generativas Quânticas (QGANs)



Química

- Baterias Quânticas
- Máquinas Térmicas
- Simulações de moléculas

Computação Quântica



- Integração HPC e Computação Quântica
- Códigos de Correção de Erros

Funding Ecosystem for Applied Research*



Private Funding



*If innovation > non-refundable resources.

Imersão em Computação e Comunicação Quântica



Tecnologias Computacionais Avançadas: Computação e Comunicação Quântica
Forte Marechal Rondon. Brasília



Tecnologias Computacionais Avançadas: Computação e Comunicação Quântica
SENAI CIMATEC, Salvador

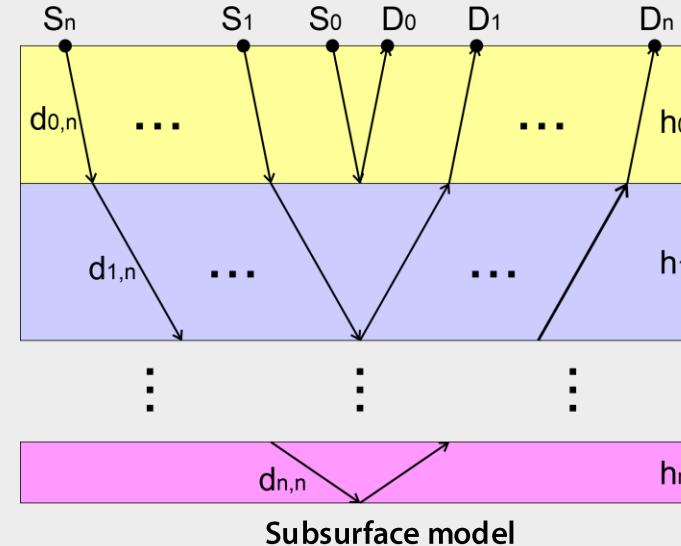
Computação Quântica para Geofísica

Inversão sísmica do tempo de viagem:

- o Determinar a velocidade da onda sísmica em cada camada
- o Importante para prospecção de petróleo e gás;

Algoritmos NISQ que usamos até agora:

- o Warm-start quantum optimization
- o Quantum Circuit Evolution



It's a beginning!

**Not possible to use
in production flow!**

Trabalhos anteriores

Employing gate-based quantum computing for traveltimes seismic inversion

<https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2022.80007>



- o Quantum Computational Intelligence for traveltimes seismic inversion

https://sbgf.org.br/mysbgf/eventos/expanded_abstracts/IX_SimBGf/Quantum%20computational%20intelligence%20for%20traveltimes%20seismic%20inversion.pdf | https://arxiv.org/pdf/2208.05794.pdf



Quantum Machine Learning

Trabalhos feitos:

- QAMP Fall: Tensor-networks circuitos quânticos para modelos de aprendizagem de máquina quântica.
- Aprendizagem supervisionada quântica evolutiva em dispositivos NISQ
- Codificação eficiente de dados clássicos em estados de base quântica
- Quantum Kernel Machines e suas aplicações (default prediction, ad-hoc, iris, MNIST)
- Decomposição espectral real em dispositivos NISQ (Quantum chemistry, PCA, Graph spectral theory)
- Quantum feature selection

Trabalhos anteriores e repositórios:

- A kernel-based quantum classifier with Cirq (<https://github.com/AntonSimen06/quantum-kernel-cirq>)
- Multiclass classification with Quantum Kernel Machines (<https://github.com/AntonSimen06/quantum-classifier-myQLM>)
- Quantum Generative Adversarial Networks (qGANs) for mitigating noise in NISQ computers (related: <https://github.com/AntonSimen06/qGAN>)
- Minimum search in a quantum RAM (Quantum Open Source Foundation) (https://github.com/AntonSimen06/QOSF_project)

Computação Quântica para Finanças

Feature Selection para risco de crédito

Objetivo:

- Explorar novas soluções possíveis para o problema de seleção de feature usando computação quântica.

Motivação

- O custo de treinar um modelo de aprendizado de máquina em um conjunto de dados de treinamento com espaço de feature de alta dimensão pode se tornar custoso, pois a maioria das famílias de modelos escala com o número de dimensões de dados de entrada.

- A seleção de feature representa um problema de otimização que oferece pouca estrutura para ser explorada por técnicas clássicas e, portanto, oferece um interessante banco de testes para estudar potenciais vantagens de algoritmos quânticos.

Quantum Algorithm:

- Evolutionary Quantum Feature Selection

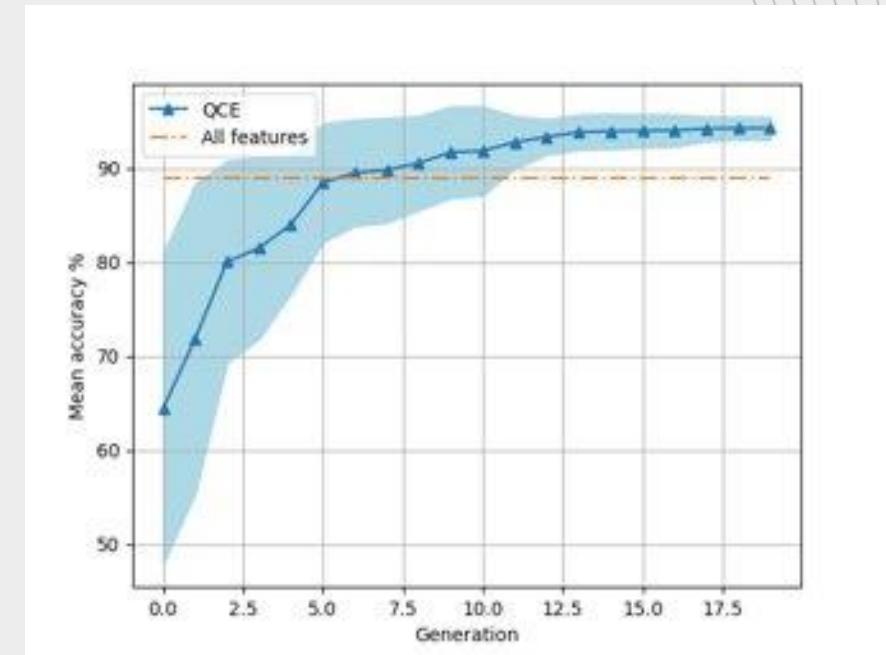


Figure: Mean accuracy of predictive model

Computação Quântica para Finanças

Quantum GANS para Score de Crédito
Objetivo: 5

- Estudar e implementar modelos generativos híbridos, quântico-clássicos, para gerar dados sintéticos.

Motivação:

- O processamento quântico fornece vantagens em tarefas de otimização e treinamento, permitindo convergência mais rápida e treinamento mais eficiente de GANs quânticos. Algoritmos quânticos podem acelerar o processo de otimização, tornando-os particularmente valiosos para grandes conjuntos de dados e modelos complexos;
- O potencial dos processadores quânticos para lidar com conjuntos de dados maiores e modelos mais complexos em comparação com processadores clássicos. Essa escalabilidade permite que QGANs gerem dados sintéticos em larga escala, o que é particularmente valioso no setor industrial e financeiro, que requer grandes quantidades de dados para fins de treinamento e teste

Quantum Algorithm:

- Quantum Generative Adversarial Network

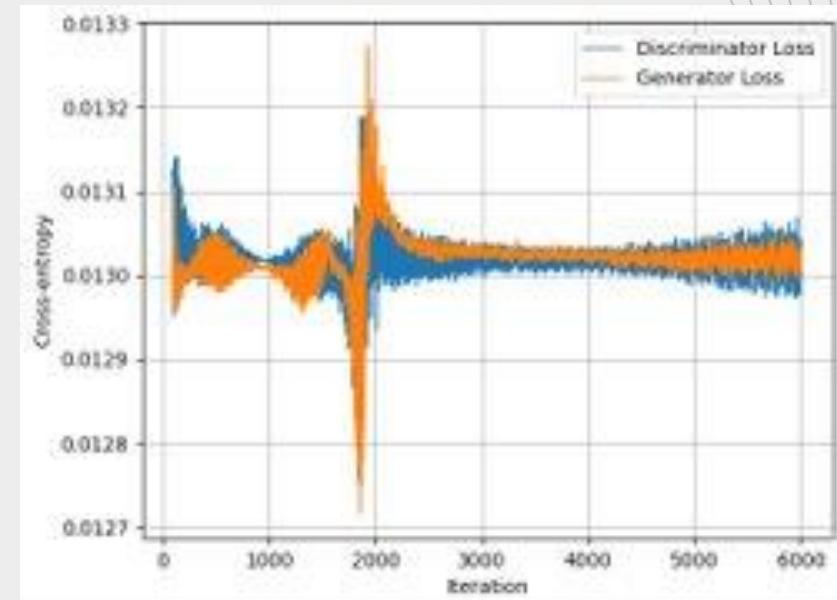
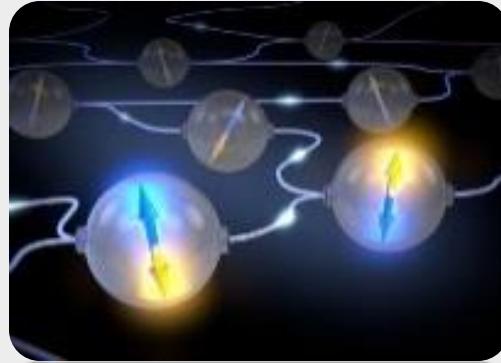


Figure: loss cross-entropy on QGANs

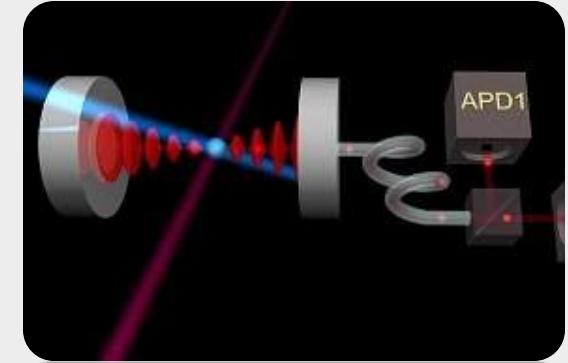
Tecnologias Quânticas de 2^a geração



Computação Quântica



Comunicação
e Criptografia
Quântica



Sensores Quânticos



Informação Quântica & Princípios da Mecânica Quântica

Sensores Quânticos

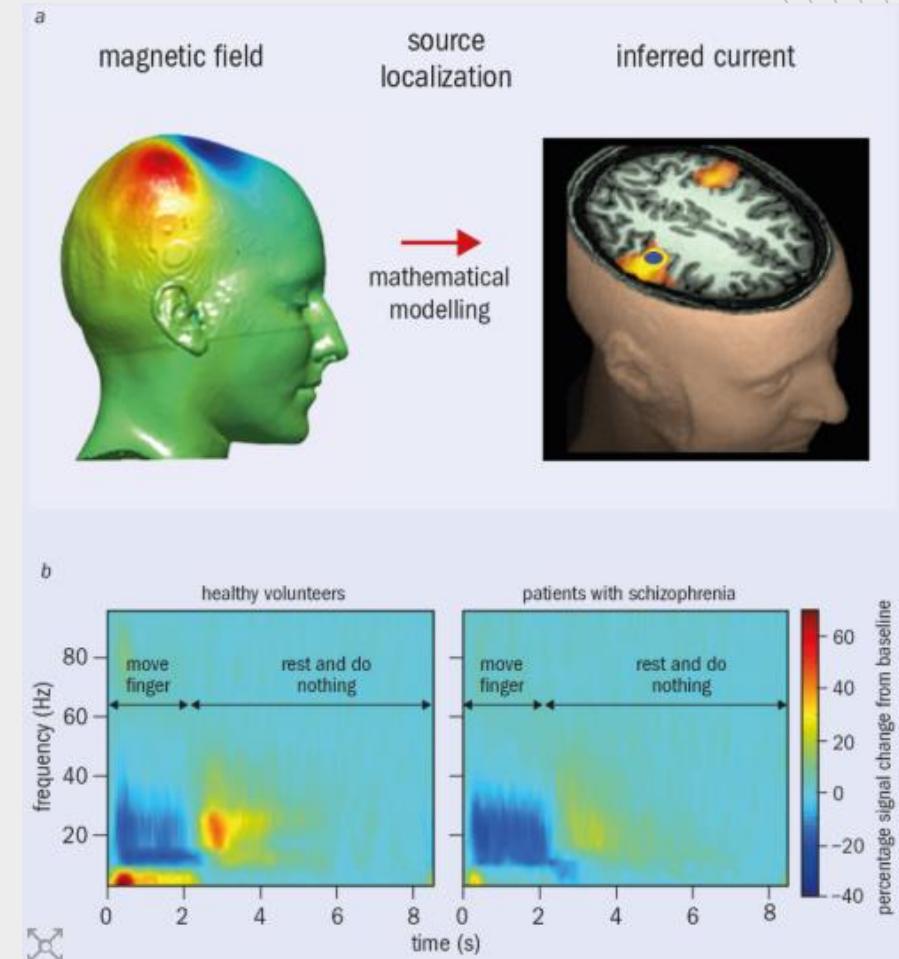
Abnormal visuomotor processing in schizophrenia

Siân E. Robson ^a, Matthew J. Brookes ^a, Emma L. Hall ^a, Lena Palaniyappan ^b,
Jyothika Kumar ^b, Michael Skelton ^b, Nikolaos G. Christodoulou ^b, Ayaz Qureshi ^c,
Fiesal Jan ^d, Mohammad Z. Katshu ^b, Elizabeth B. Liddle ^b, Peter F. Liddle ^b,
Peter G. Morris ^a  



QUANTUM | FEATURE

Quantum physics gives brain-sensing
MEG scanners a boost



Sensores Quânticos

Journal of Geophysical Research: Solid Earth / Volume 128, Issue 4 / e2022JB025921

Research Article |  Open Access



Airborne Absolute Gravimetry With a Quantum Sensor, Comparison With Classical Technologies

Y. Bidel , N. Zahzam, A. Bresson, C. Blanchard, A. Bonnin, J. Bernard, M. Cadoret, T. E. Jensen, R. Forsberg, C. Salaun, S. Lucas, M. F. Lequentrec-Lalancette, D. Rouxel, G. Gabalda, L. Seoane ... See all authors >

First published: 29 March 2023

<https://doi.org/10.1029/2022JB025921>

Citations: 6

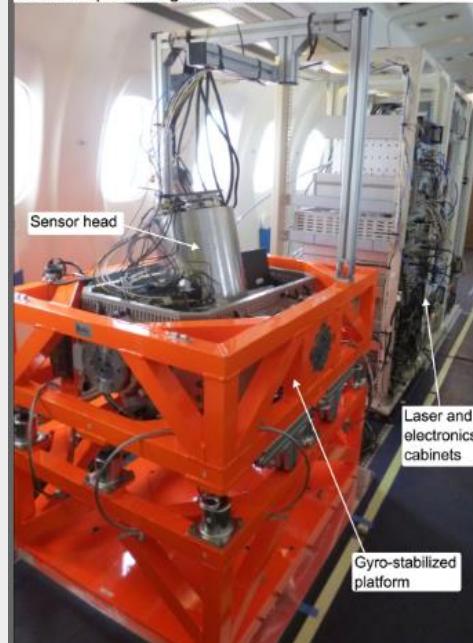
 About |  Sections



Abstract

We report an airborne gravity survey with an absolute gravimeter based on atom interferometry and two relative gravimeters: a classical LaCoste&Romberg (L&R) and a novel iMAR strapdown Inertial Measurement Unit. We estimated measurement errors for the quantum gravimeter ranging from 0.6 to 1.3 mGal depending on the flight conditions and the filtering used. Similar measurement errors are obtained with iMAR strapdown gravimeter, but the long-term stability is five times worse. The traditional L&R platform gravimeter shows larger measurement errors (3–4 mGal). Airborne measurements have been compared to marine, land, and altimetry-derived gravity data. We obtain a good agreement for the quantum gravimeter with standard deviations and means on differences below or equal to 2 mGal. This study confirms the potential of quantum technology for absolute airborne gravimetry, which is particularly interesting for mapping shallow water or mountainous areas and for linking ground and satellite measurements with homogeneous absolute referencing.

GIRAFE quantum gravimeter



LaCoste&Romberg gravimeter



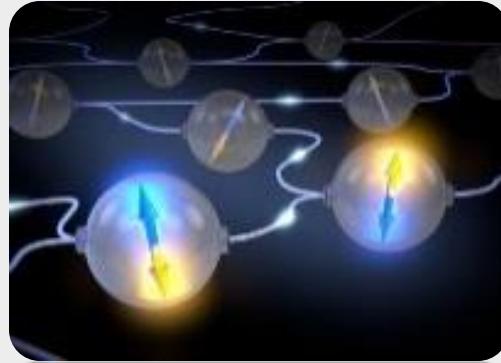
Key Points

- Unlike classical systems, a quantum gravimeter does not require calibrations or drift estimations during an airborne gravity campaign
- A quantum gravimeter has demonstrated similar precision than an Inertial Measurement Unit (IMU) gravimeter and significantly better precision than a spring gravimeter
- A quantum gravimeter has shown significantly better long-term stability than an IMU strapdown system even if its drift has been corrected

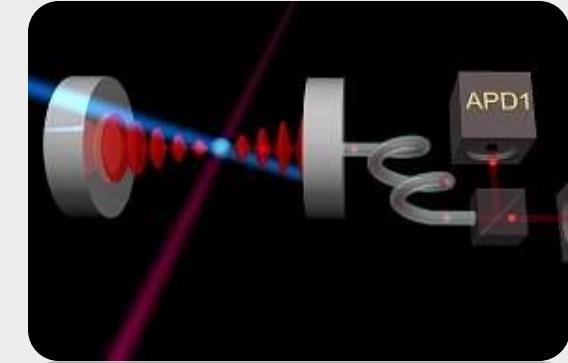
Tecnologias Quânticas de 2^a geração



Computação Quântica



Comunicação
e Criptografia
Quântica



Sensores Quânticos



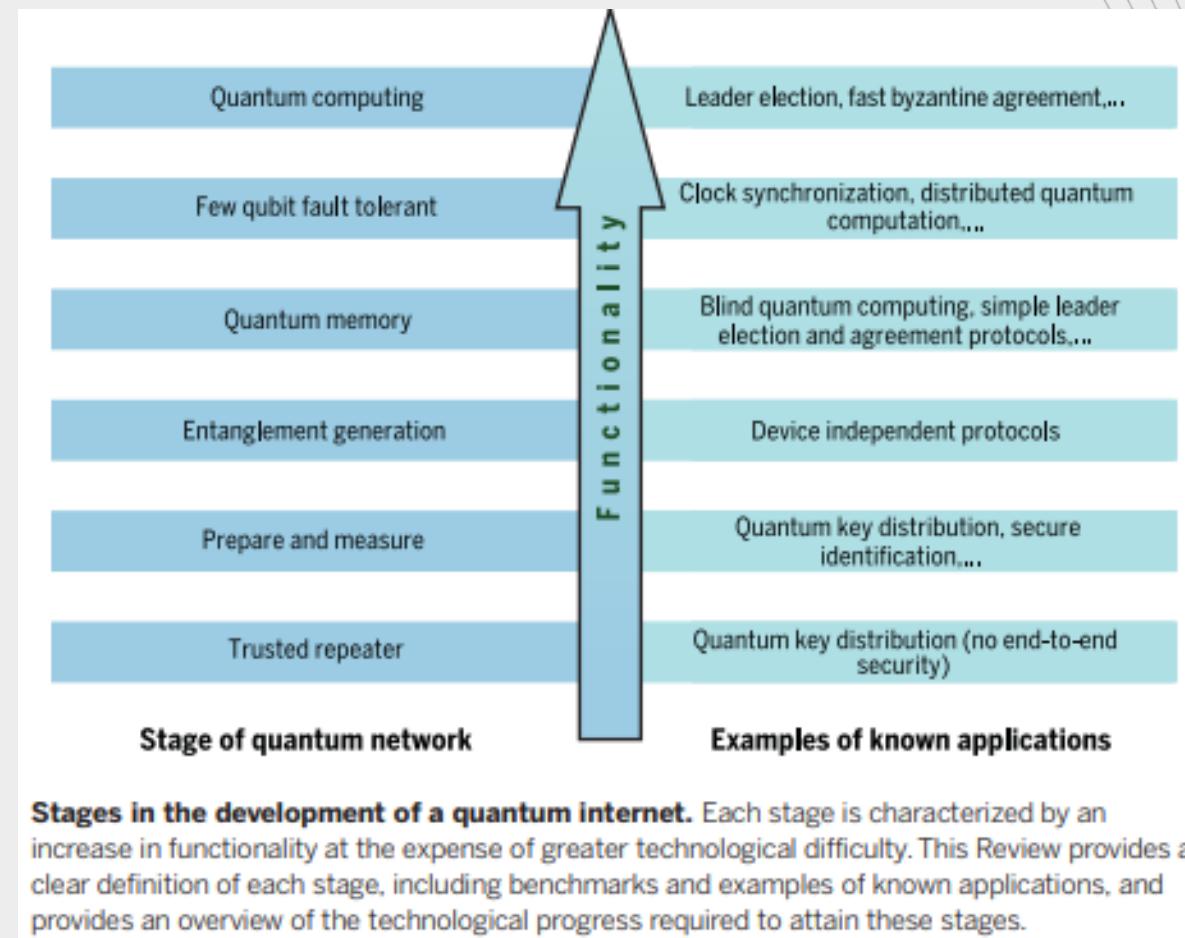
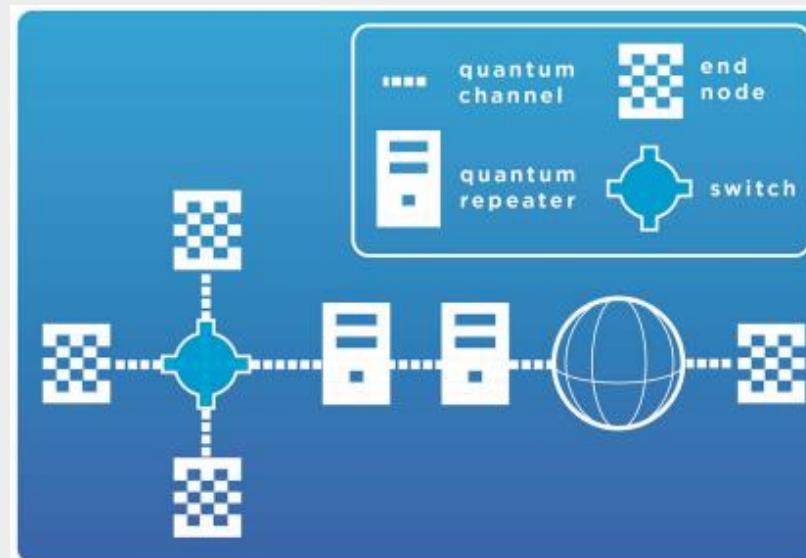
Informação Quântica & Princípios da Mecânica Quântica

Comunicação Quântica

QUANTUM INFORMATION

Quantum internet: A vision for the road ahead

Stephanie Wehner*, David Elkouss, Ronald Hanson

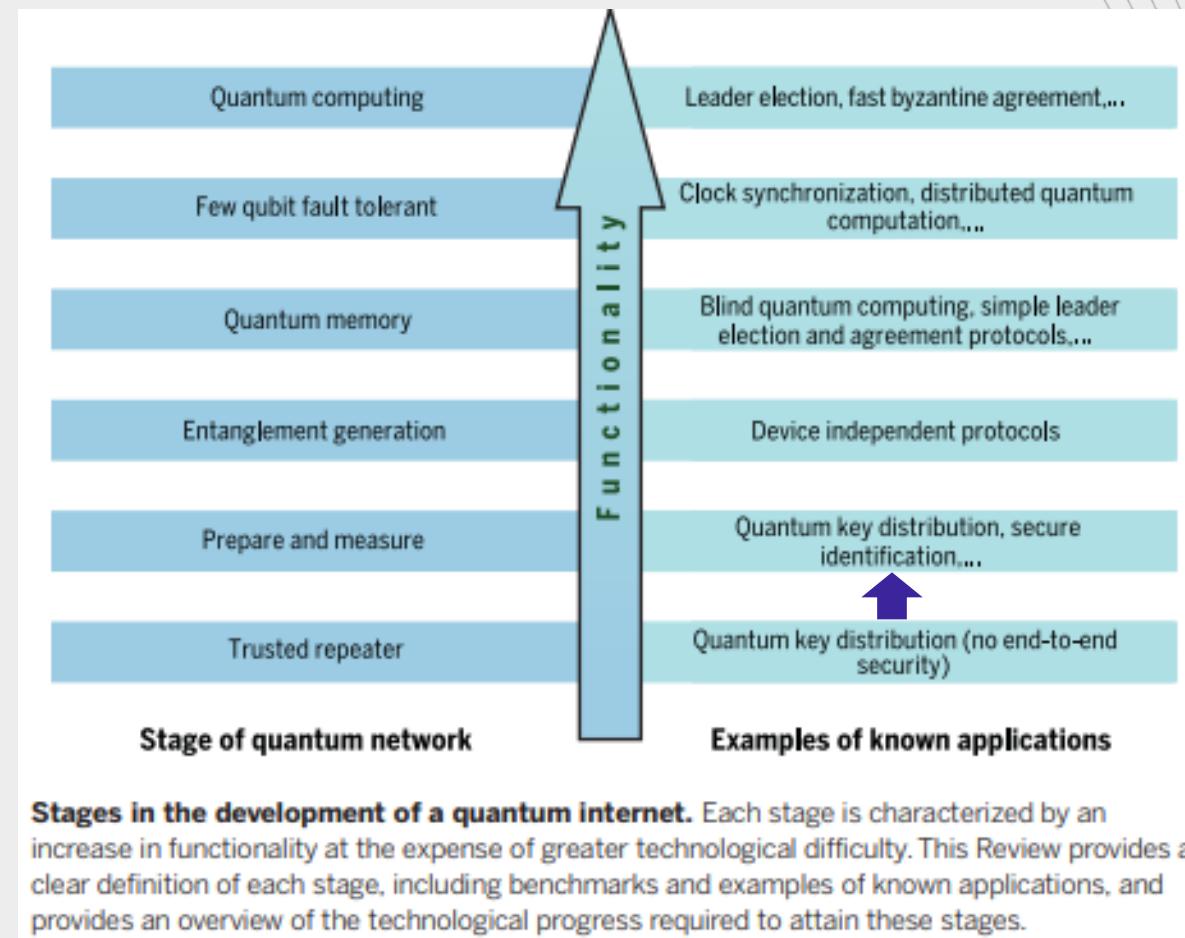
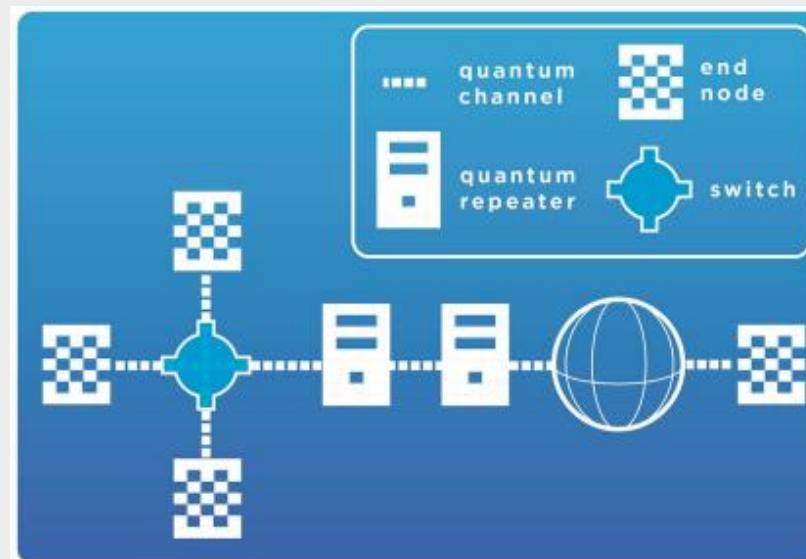


Comunicação Quântica

QUANTUM INFORMATION

Quantum internet: A vision for the road ahead

Stephanie Wehner*, David Elkouss, Ronald Hanson



Comunicação Quântica

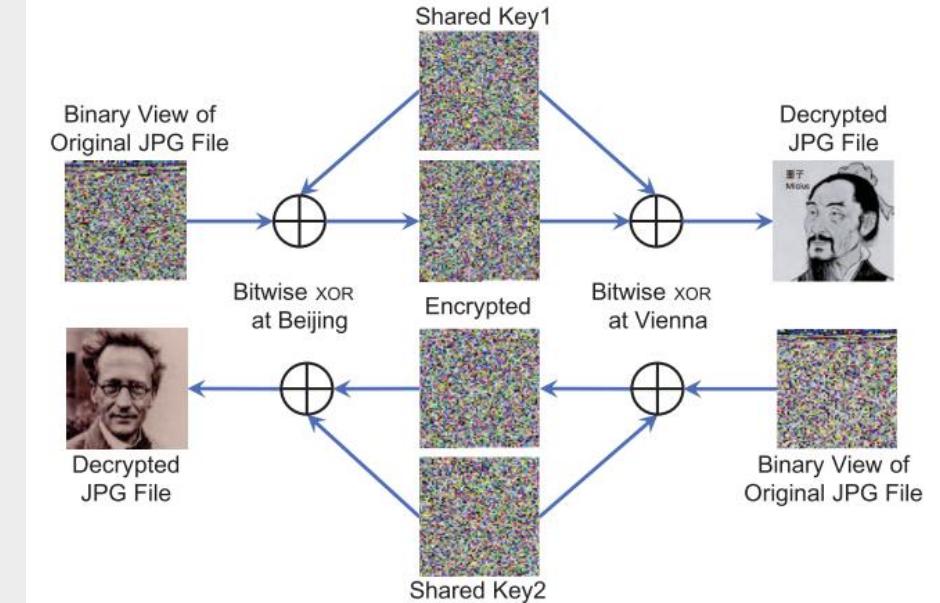
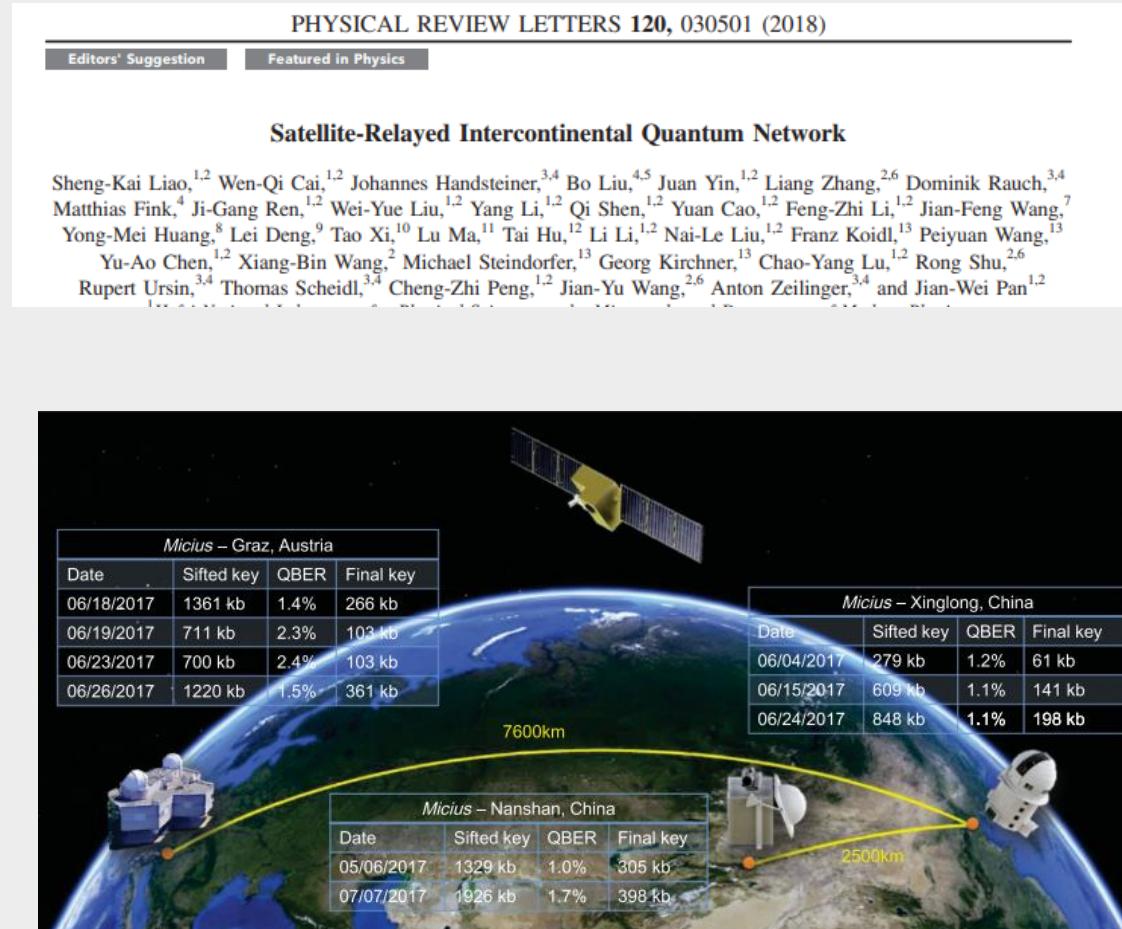


FIG. 3. One-time-pad file transfer. A picture of *Micius* or Schrödinger was transferred between Beijing and Vienna one-time-pad encrypted with a secure key with a length of 5.34 or 4.9 kB, ensuring unconditional security. Binary view of pictures and keys are depicted where each pixel represents one byte of data or key encoded in a 256 color scale. Each side encrypted or decrypted the picture with a simple bitwise XOR operation.

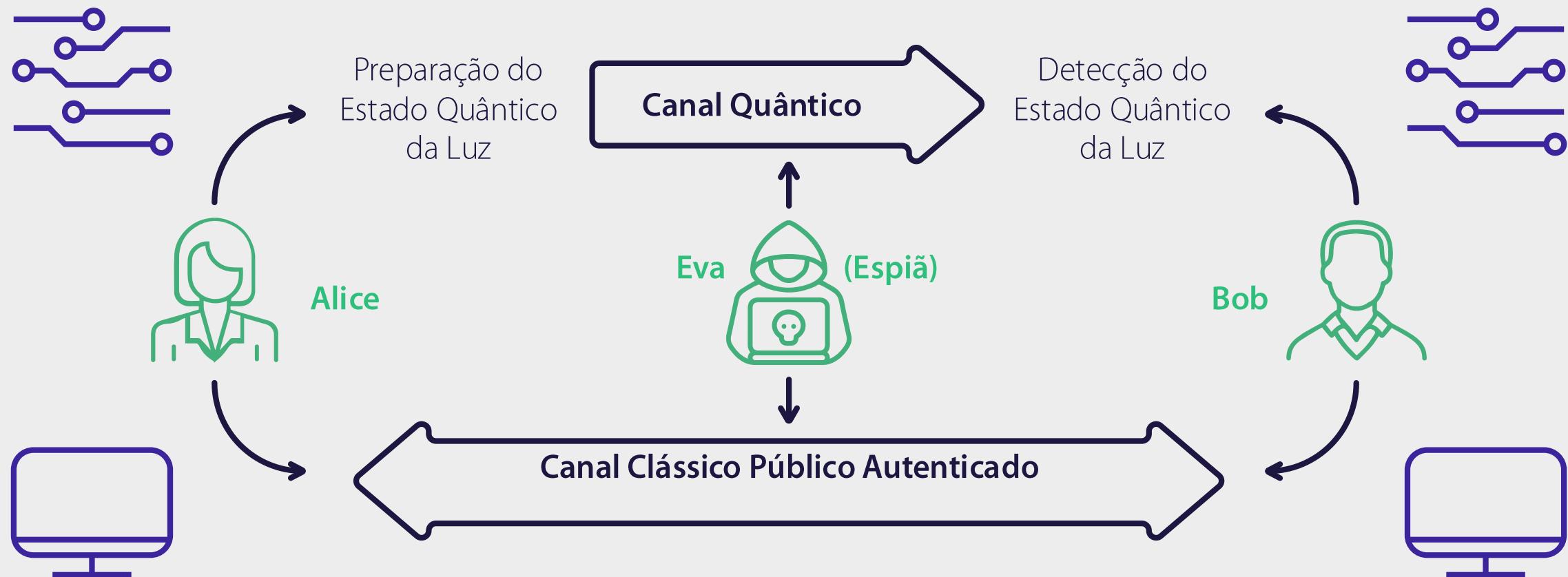
Quem é o Quin



SENAI CIMATEC
é escolhido como
Centro de Competência
em Tecnologias Quânticas
pela Embrapii.



Protocolos de comunicação quântica por CV-QKD



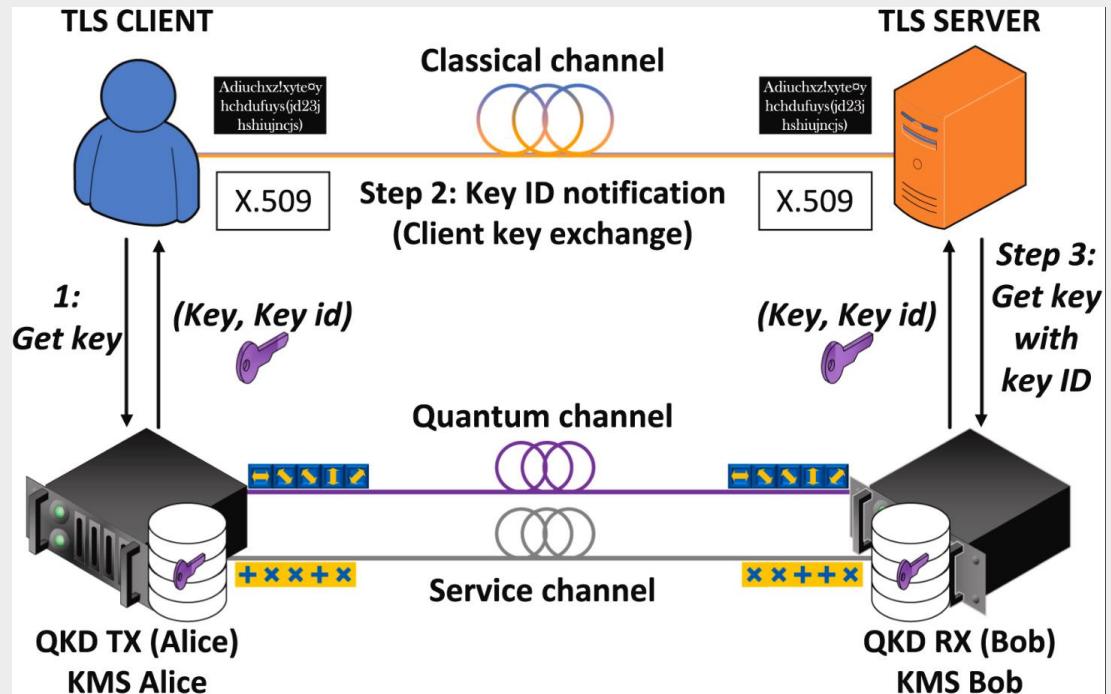
Chave: 1010001010011...

Chave: 1010001010011...

QKD Aplicações

- **Segurança incondicional** de informações sensíveis e sigilosas
- Integridade de **infraestrutura crítica e dados sensíveis**
- Detecção de ataques

The screenshot shows a news article from the Ministry of Foreign Affairs of Denmark. The header reads "INSIGHT FIRST QUANTUM SAFE DATA TRANSFER PERFORMED AT DANSKE BANK". The main text states: "Secure data transfers are necessary in the fight against cybercrime and now researchers at the Danish Technical University (DTU) have accomplished secure transfer of data using quantum technology." The date "23 FEB 2022" is also visible.



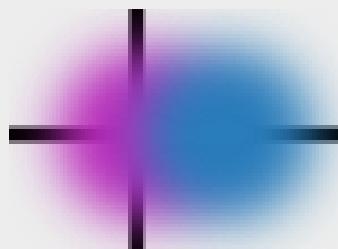
Exemplos:

- TLS (transport layer security) – client-server protocol for internet
- Comunicação entre datacenters remotos
- Proteção de serviços na nuvem

QuillN- Plano de Ação

R\$60 MM / 42 meses

1. PD&I: CV-QKD



- Protocolos
- Testbed
- Pós- processamento

2. Formação & Capacitação



- Comunicação Quântica
- Computação Quântica

3. Associação Tecnológica



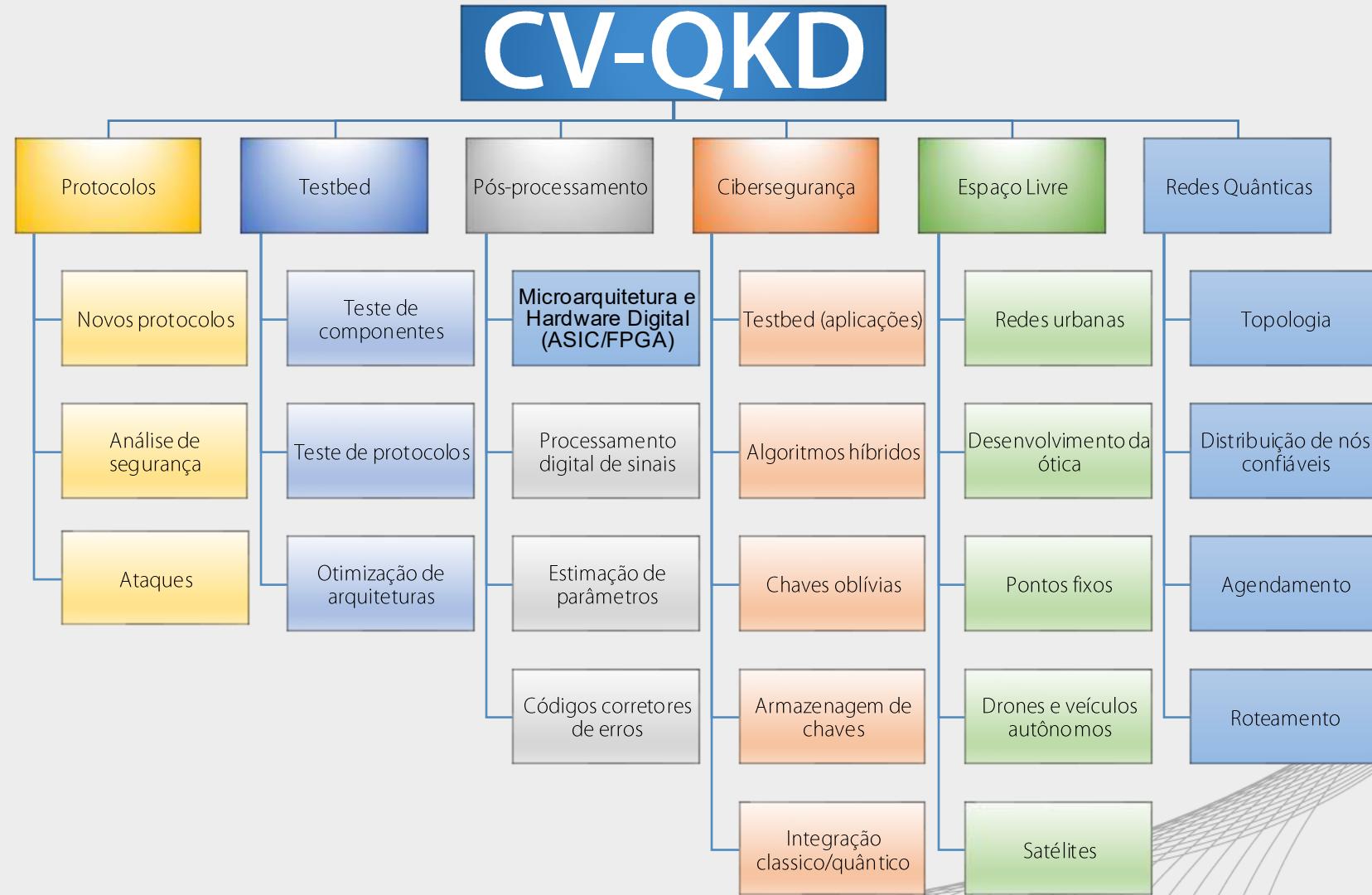
- Empresas & ICTs
- Benefícios: Informação, PI, Treinamento, Infraestrutura

4. Atração & Criação de Startups

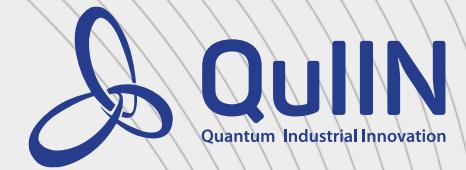


- Comunidade de Startups
- Treinamento
- Aceleração
- Venture Capital.

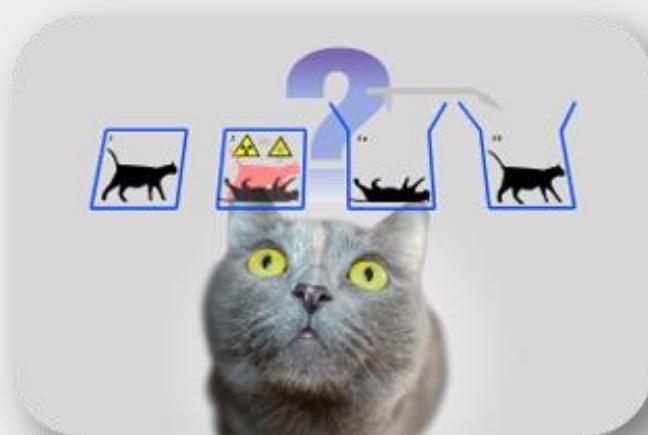
Linhas de pesquisa do QullN em CV-QKD



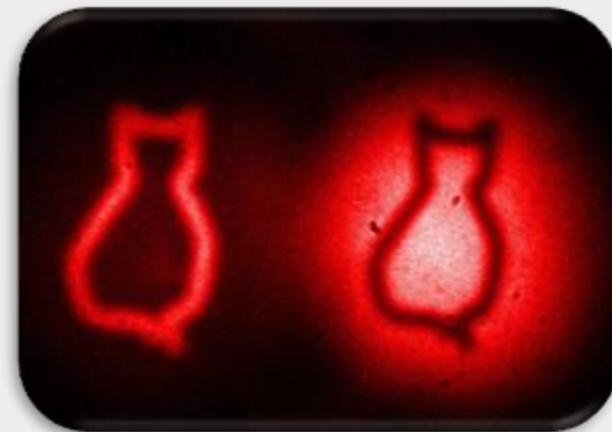
Ingredientes para computação quântica



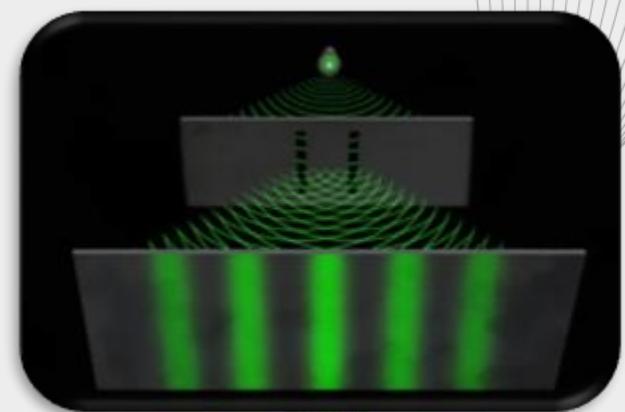
- A computação quântica é a computação que faz uso de fenômenos da mecânica quântica



Superposição



Emaranhamento

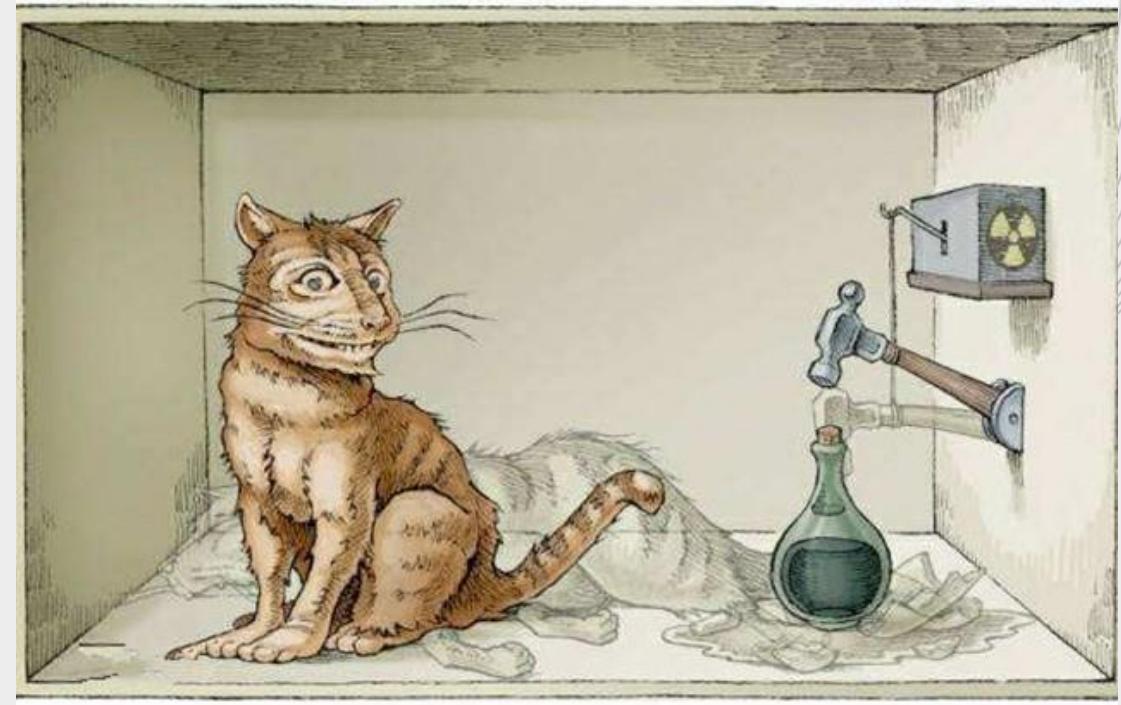


Interferência

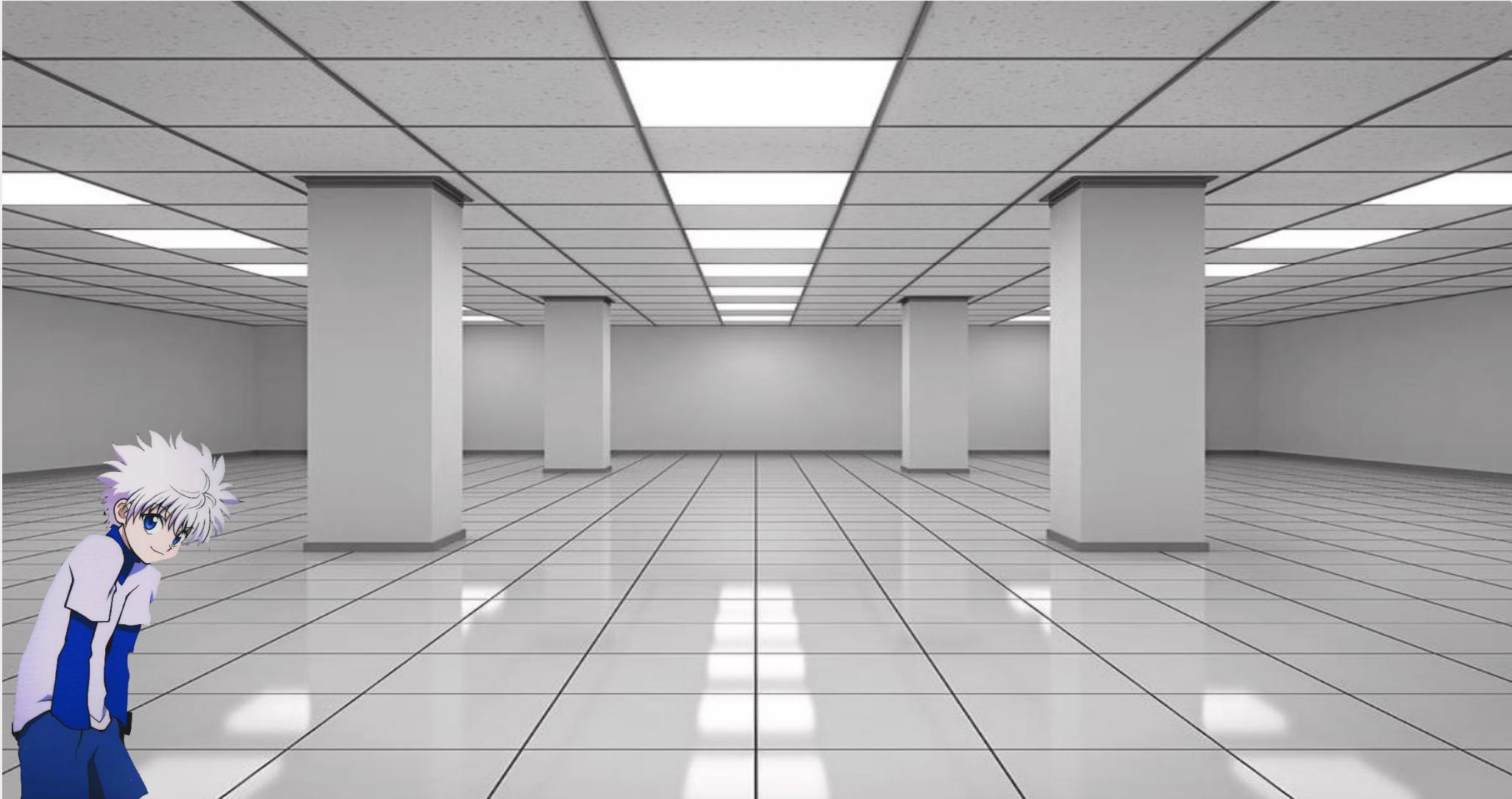
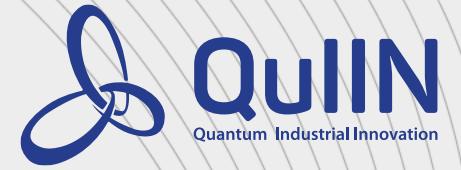
Superposição



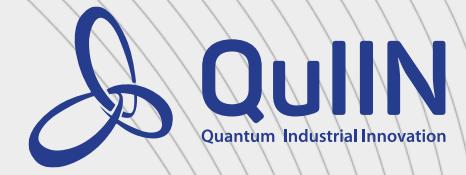
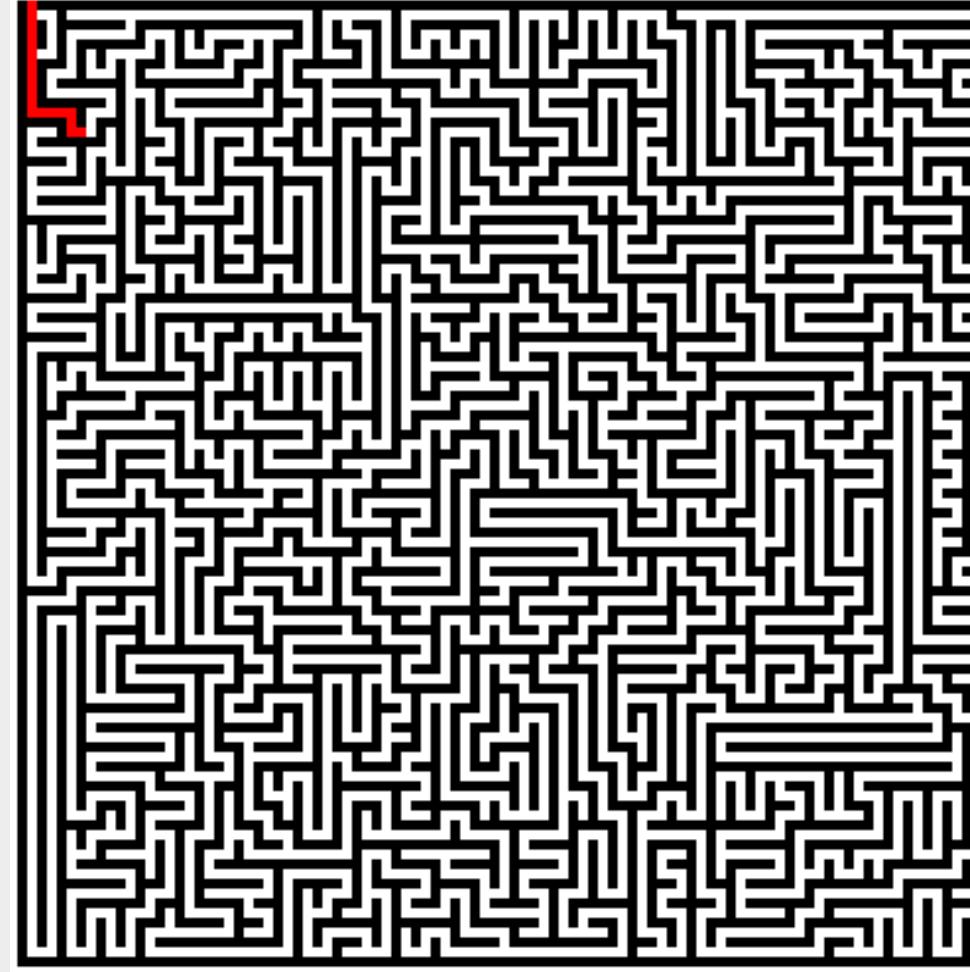
É um princípio da mecânica quântica que afirma que em um sistema quântico, é possível ter uma combinação linear dos estados do sistema em um certo instante de tempo.



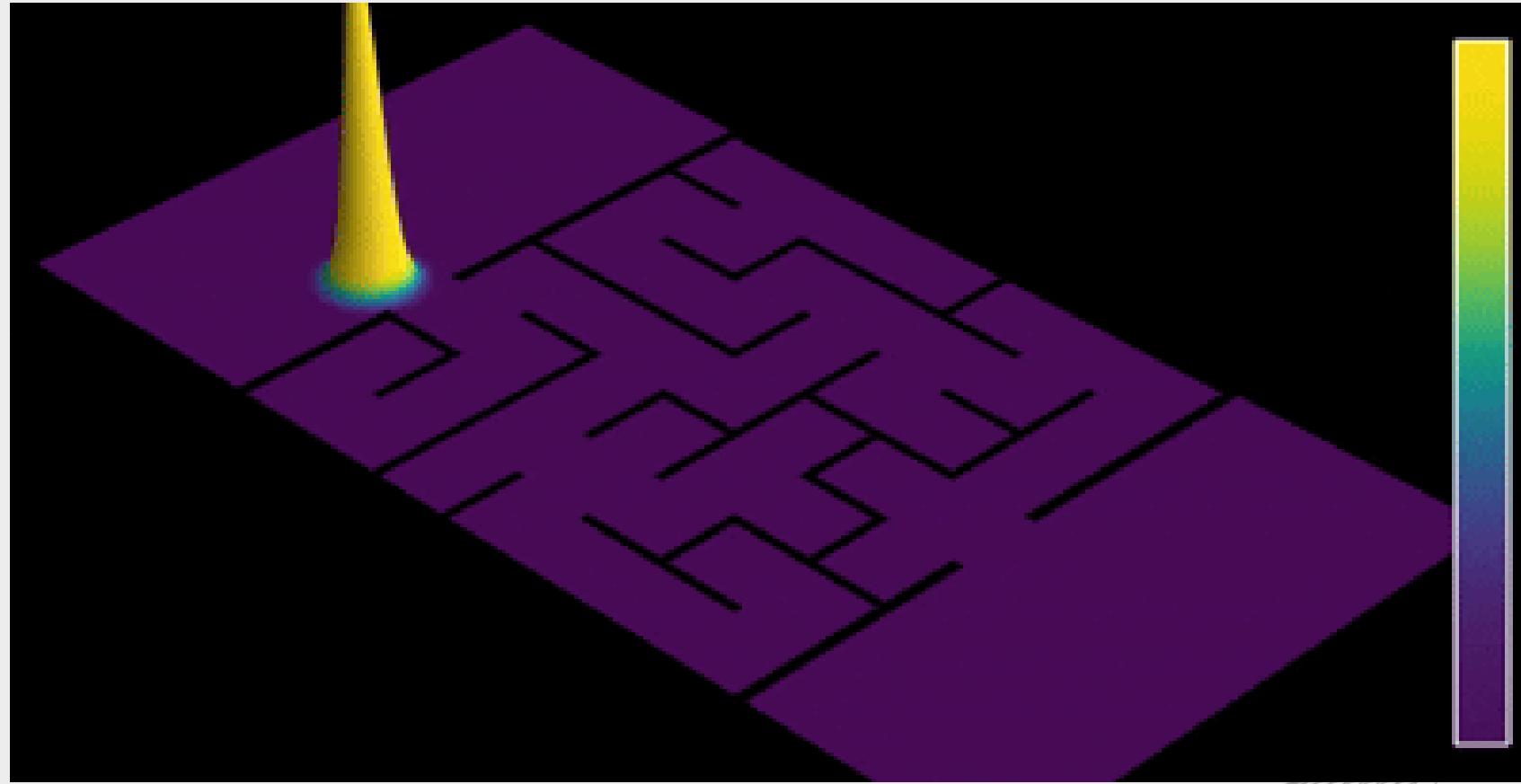
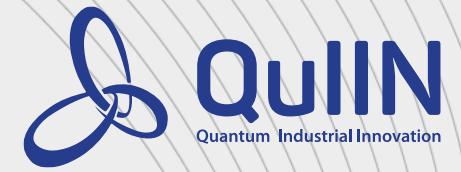
Superposição



Superposição

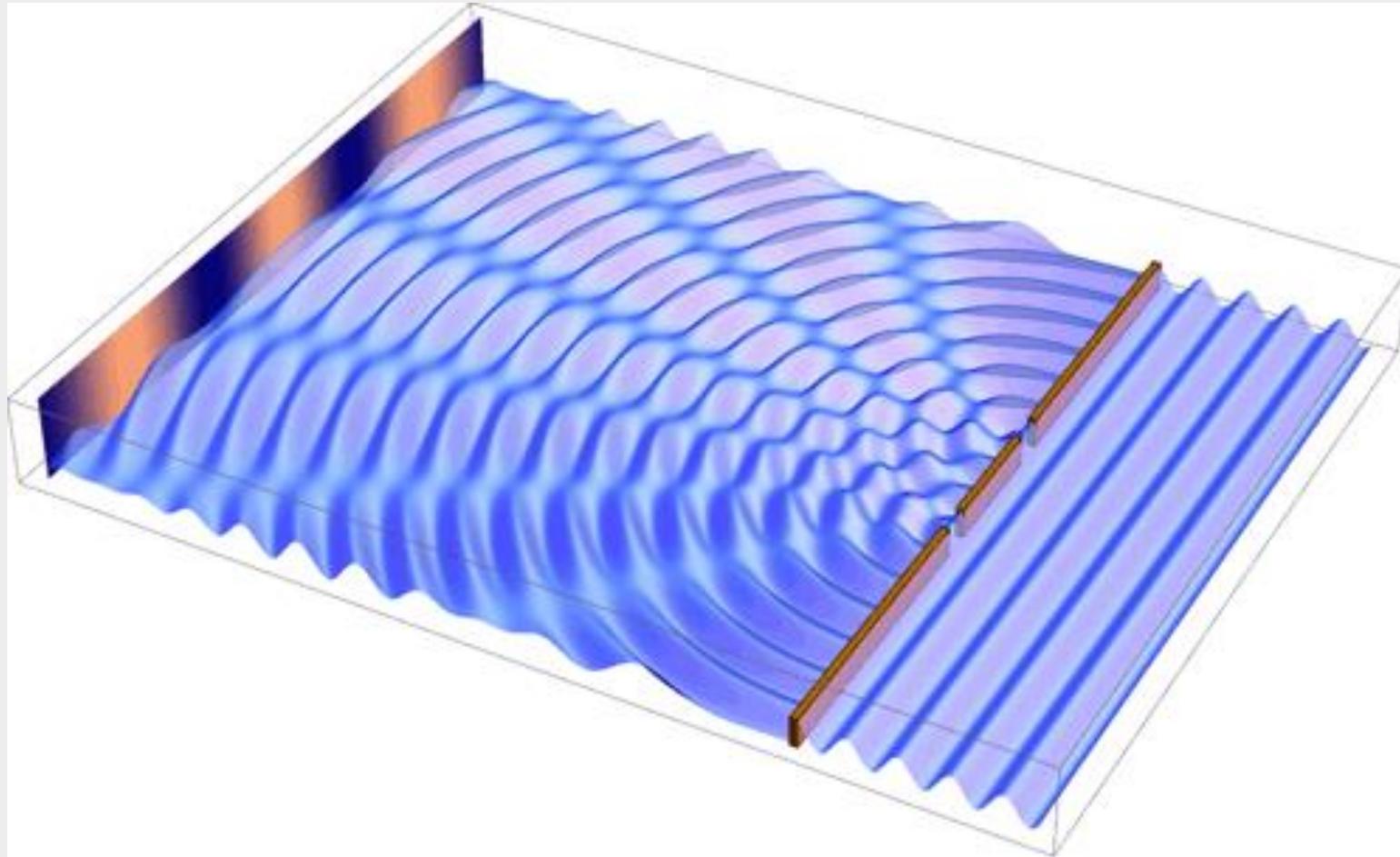


Superposição



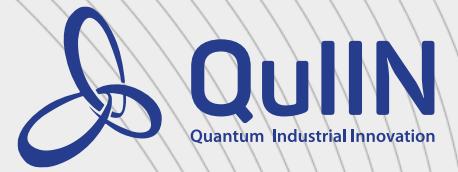
Quantum maze: Solved and not solved at the same time, Nils Berglund, Youtube, 2023. Disponível em:
https://youtu.be/Boz9QRgud4w?si=o_U0PFDp7r3FevJL

Interferência



Processo de interferência: a medida que as onda interagem, criam-se interferências construtivas e destrutivas, que podem ser visualizadas no aparato

Interferência



Processo de interferência: a medida que as onda interagem, criam-se interferências construtivas e destrutivas, que podem ser visualizadas no aparato

Interferência



Na quântica, consideramos que a probabilidade de ocorrência de um evento é afetada pelas amplitudes de probabilidade das diferentes maneiras pelas quais esse evento pode ocorrer.

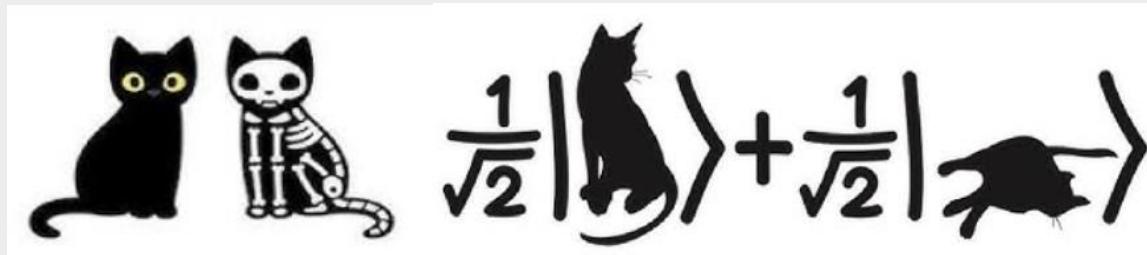
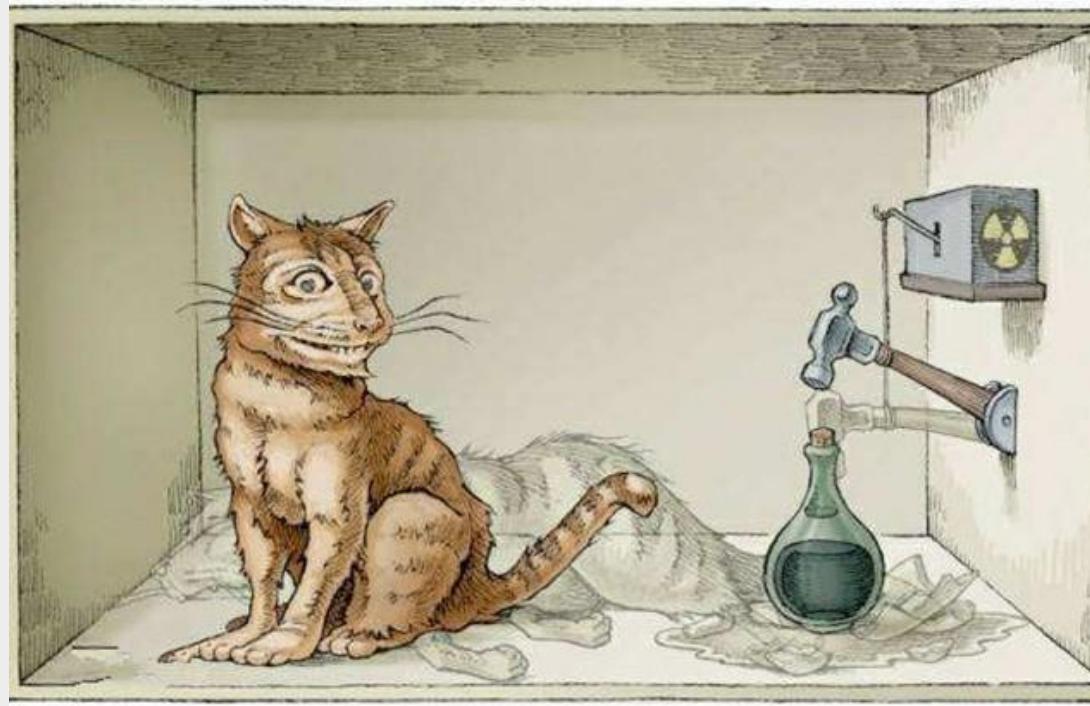
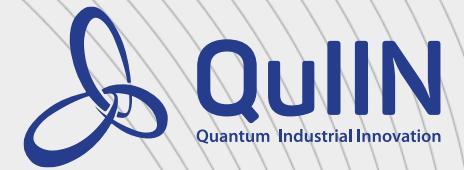
-  Superposição de Estados
-  Amplitudes de Probabilidade
-  Interferência construtiva e destrutiva

Emaranhamento

- ⚛️ Também conhecido como entrelaçamento quântico, Objetos que estão separados fisicamente ainda podem ser correlacionados, a grosso modo o que acontece com um também afetará o outro

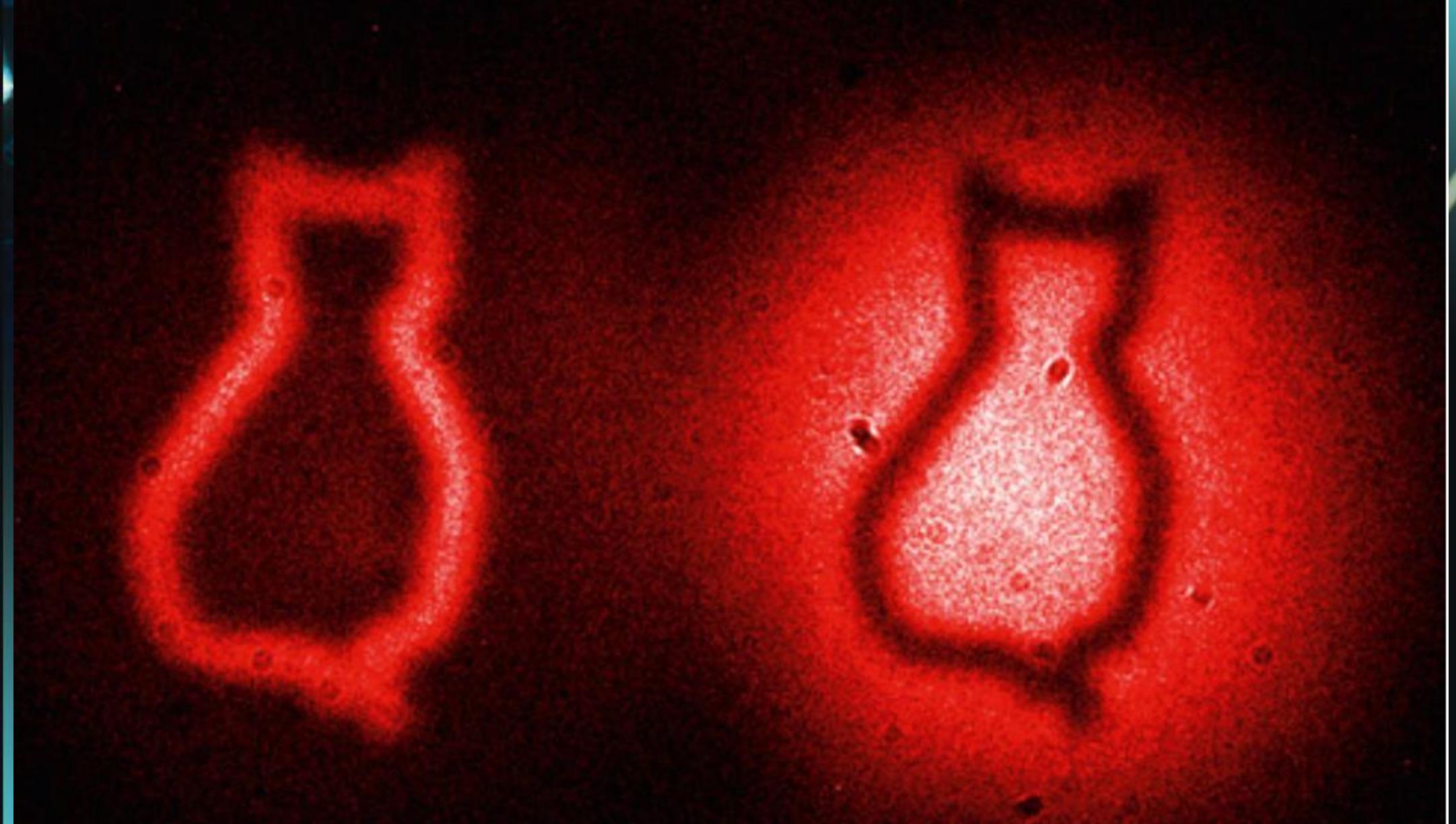


Emaranhamento

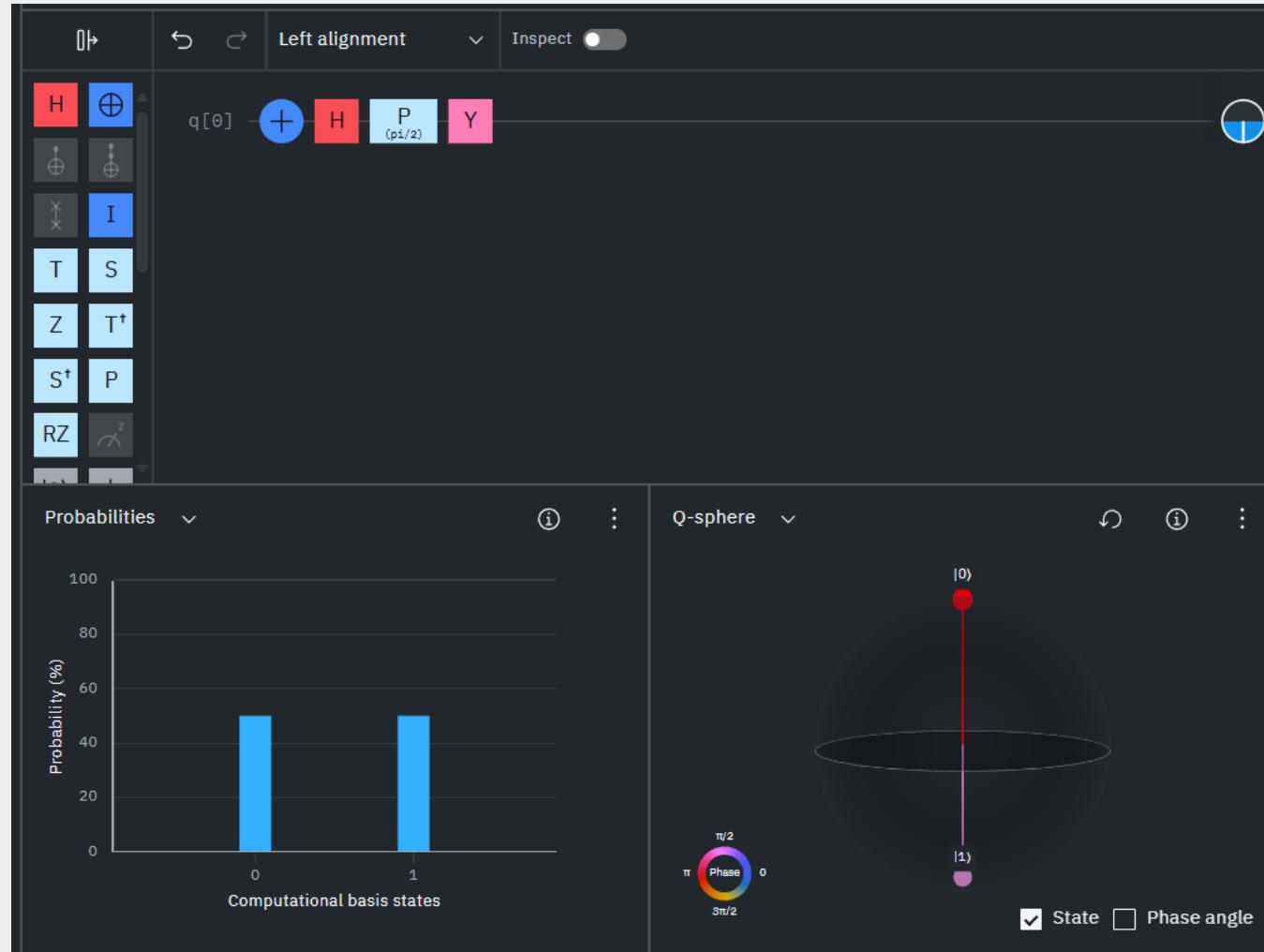


O gato que não deveria estar lá

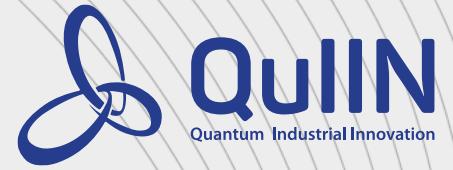
O cristal separa o laser em dois tipos de



Computação Quântica com 1 qubit



Qubits



- O qubit pode existir em diversos estados antes de ser medido, representado por:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

- A medição nos dá apenas um resultado
- A probabilidade do qubit ser medido em um determinado estado, é dada por:

$$\begin{aligned} |0\rangle &\Rightarrow |\alpha|^2 \\ |1\rangle &\Rightarrow |\beta|^2 \end{aligned}$$

- A soma das probabilidades deve ser igual a 100%, portanto:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Qubits: Superposição e medição



Notação
Vetorial

Um qubit pode ser representado como um **Vetor Complexo**:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Qubits: Superposição e medição

Notação
Vetorial

Um qubit pode ser representado como um **Vetor Complexo**:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Mas a medição nos dá apenas 0 ou 1 com uma certa probabilidade

Qubits: Superposição e medição

Notação
Vetorial

Um qubit pode ser representado como um **Vetor Complexo**:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Mas a medição nos dá apenas 0 ou 1 com uma certa probabilidade

0 com probabilidade $|\alpha|^2$

1 com probabilidade $|\beta|^2$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Qubits: Base Computacional



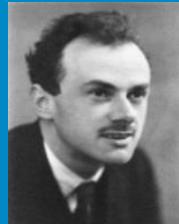
Notação
Vetorial

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base computacional de um qubit

Qubits: Base Computacional

Notação de
Dirac



$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

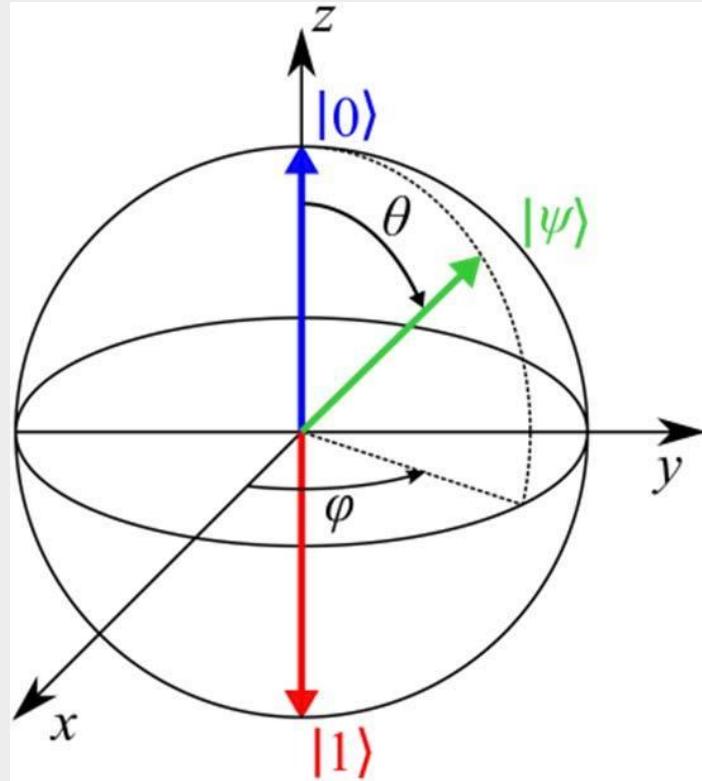
Base computacional de um qubit

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

Notação de Dirac

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch

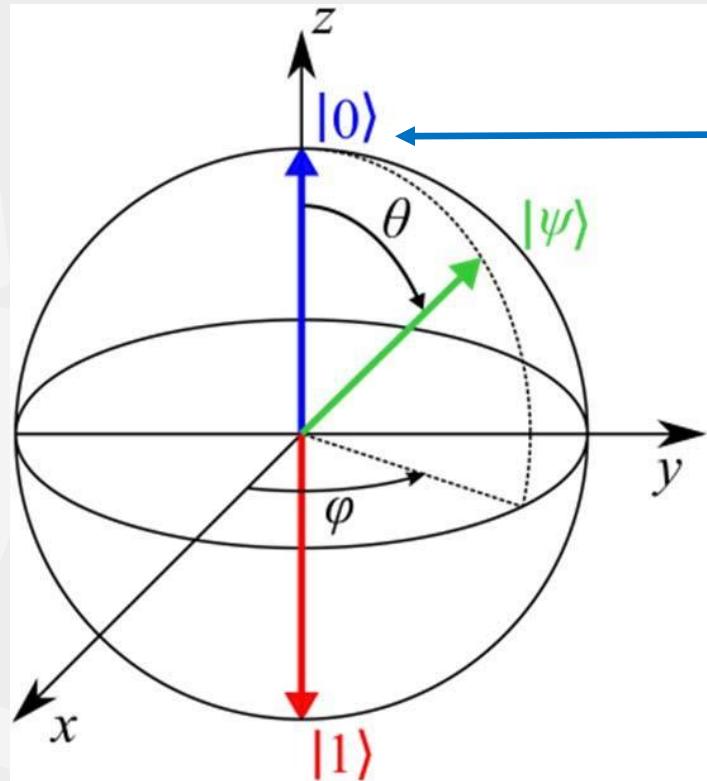


autor: Fabio Sebastianó

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch



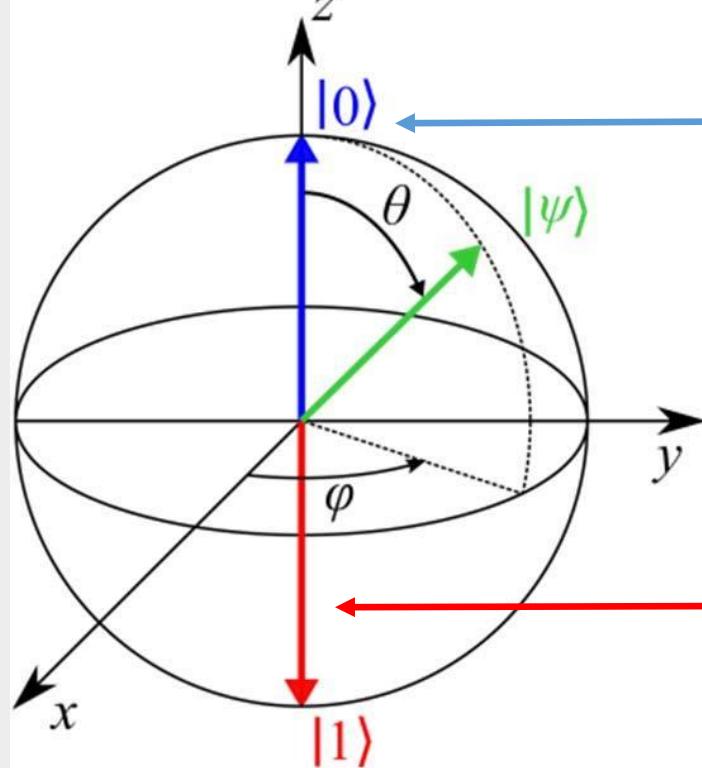
$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

↑
Estado Fundamental

author: Fabio Sebastian

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch



$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

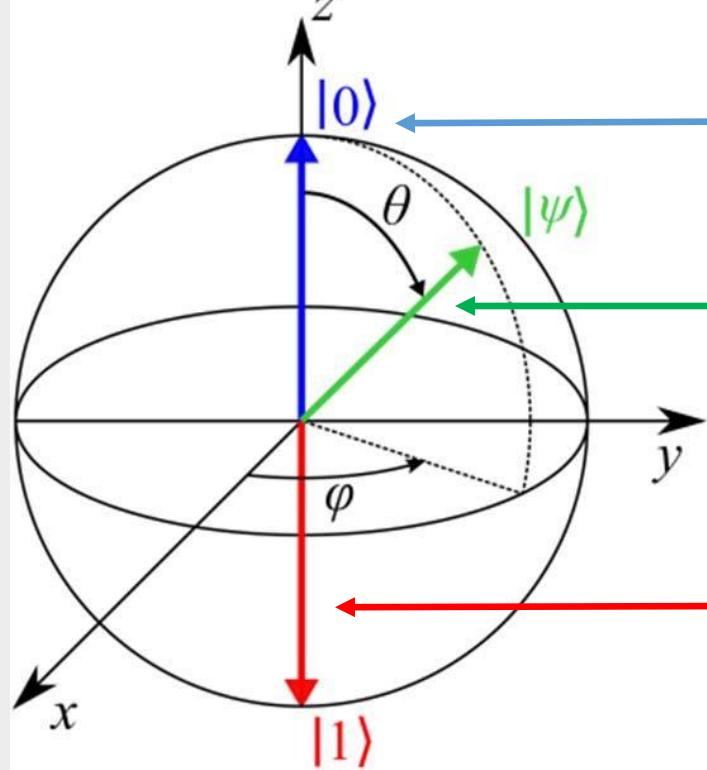
Estado Fundamental

Estado Excitado

author: Fabio Sebastian

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch



author: Fabio Sebastian

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

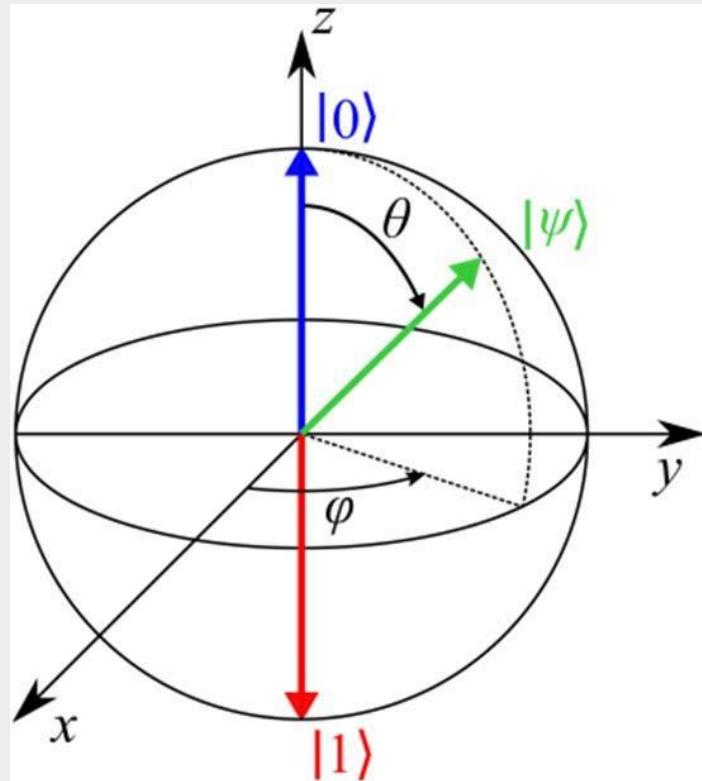
Estado Fundamental

Estado Intermediário

Estado Excitado

Adicionando Vetores e Ângulos

Esfera de
Bloch

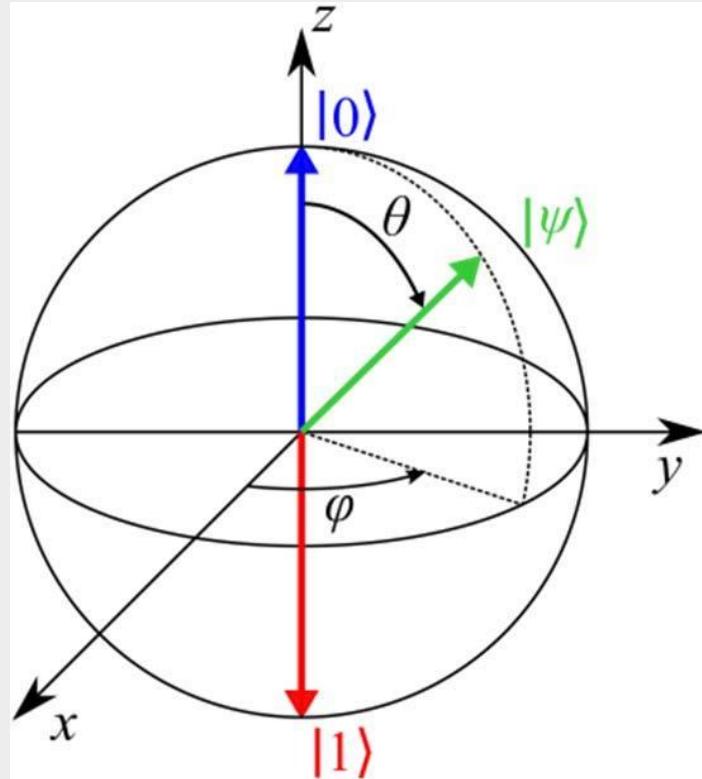


author: Fabio Sebastian

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$
$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Adicionando Vetores e Ângulos

Esfera de
Bloch



author: Fabio Sebastian

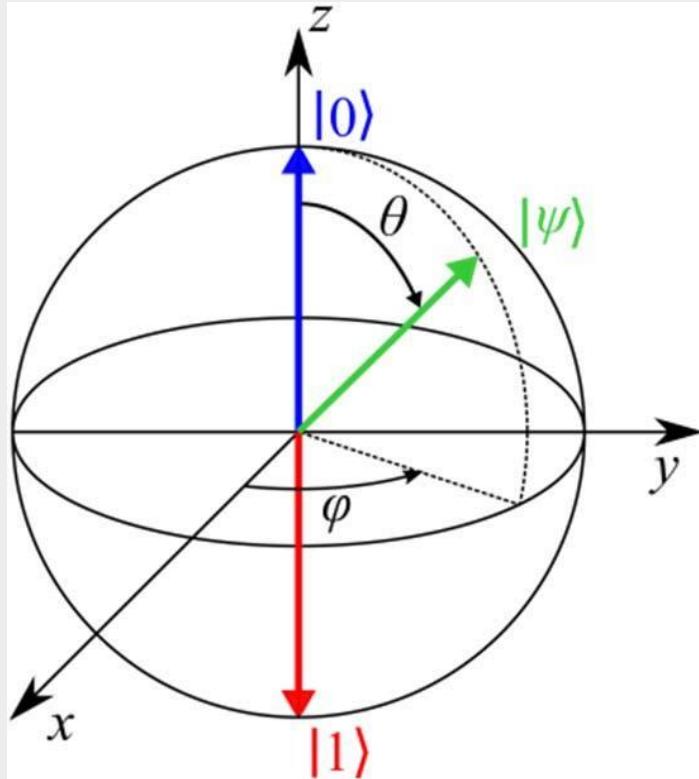
$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Adicionando Vetores e Ângulos

Esfera de Bloch



author: Fabio Sebastian



IMPORTANTE:

A esfera de Bloch pode ser utilizada para representação visual do estado de um qubit, porém não pode ser estendida para representar um sistema de múltiplos qubits devido a complexidade.

Hands on – Esfera de Bloch

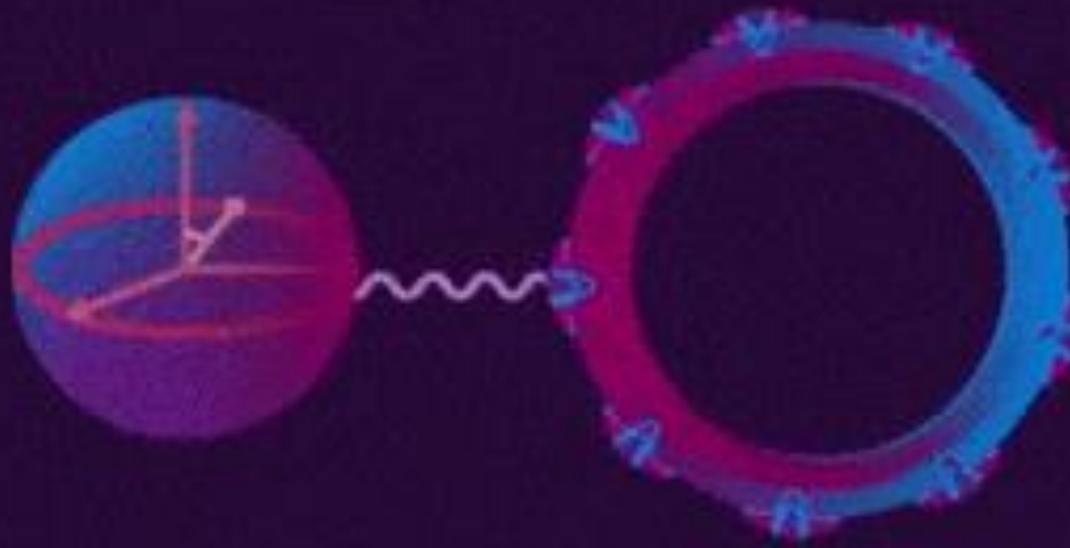


- 1) Utilizando o site <https://bloch.kherb.io/> visualize os estados de um qubit na esfera de Bloch.
 - 2) Faça uma busca e responda: qual é a relação entre a esfera de Bloch e o sistema de coordenadas esféricas?
- Bônus: Faça uma busca e responda: qual a diferença entre estados que se encontraram na superfície da esfera de Bloch *vs* os estados do interior da esfera de Bloch?

Portas Lógicas Quânticas



QUANTUM GATE



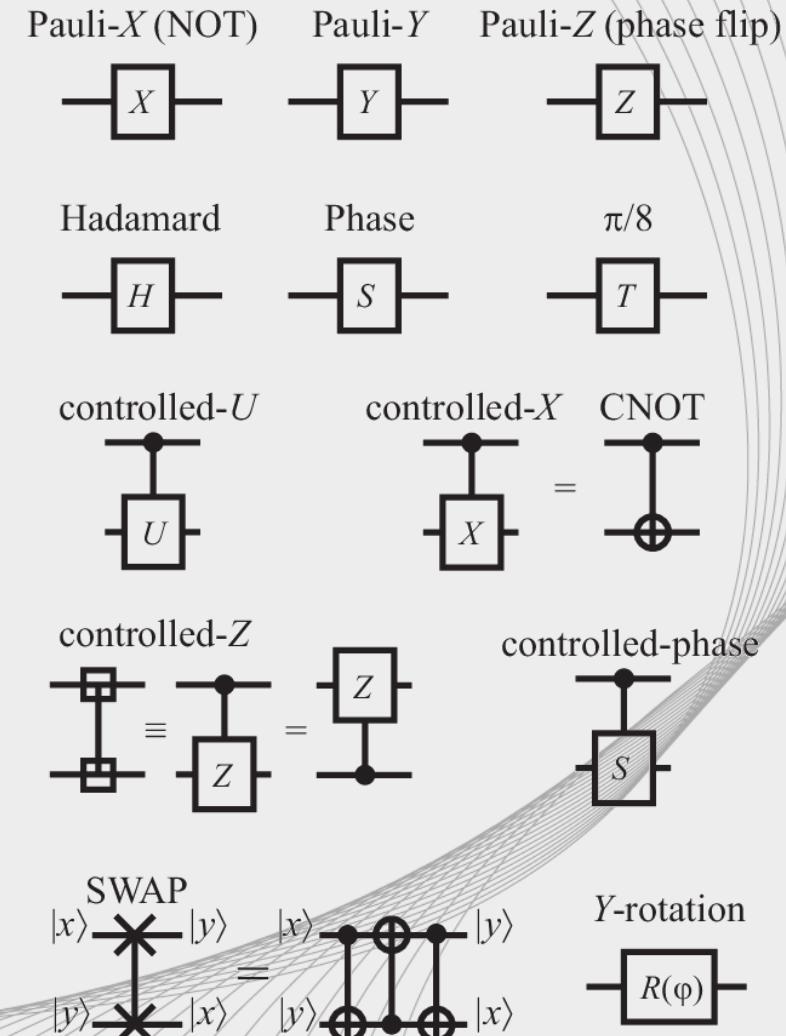
Portas Lógicas Quânticas



- Manipulam o estado do qubit através de certas operações.
- Podem ser representadas por matrizes
- As matrizes devem ser unitárias

$$UU^\dagger = U^\dagger U = I$$

- Trataremos da parte algébrica



Portas Lógicas Quânticas



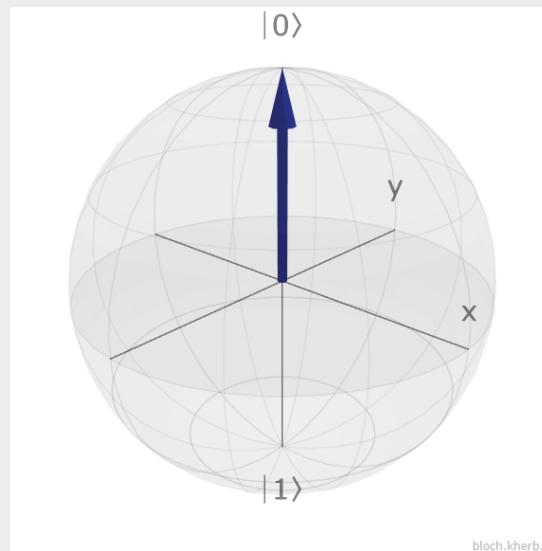
Pauli-X		$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	X Rotation		$\begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) & -i \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ -i \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) & \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix}$
Pauli-Y		$\begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$	Y Rotation		$\begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) & -\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) & \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix}$
Pauli-Z		$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	Z Rotation		$\begin{pmatrix} e^{-i\frac{\theta}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\theta}{2}} \end{pmatrix}$
Phase		$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$			
Phase Shift		$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\theta} \end{pmatrix}$			

Portas Lógicas Quânticas

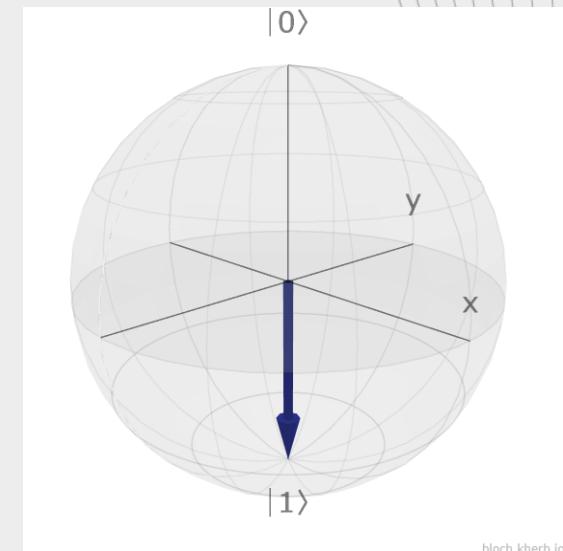
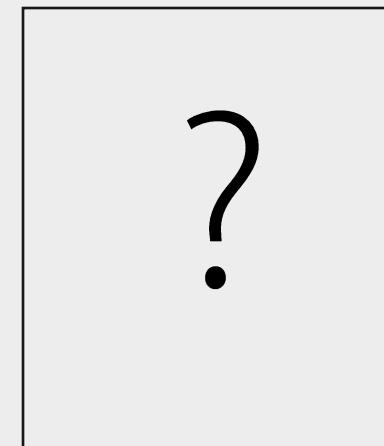


$|0\rangle$

$|1\rangle$



ENTRADA

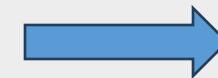
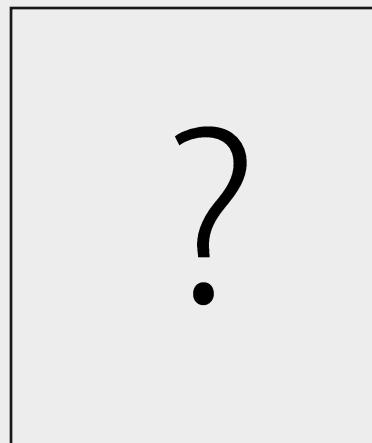
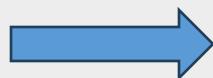
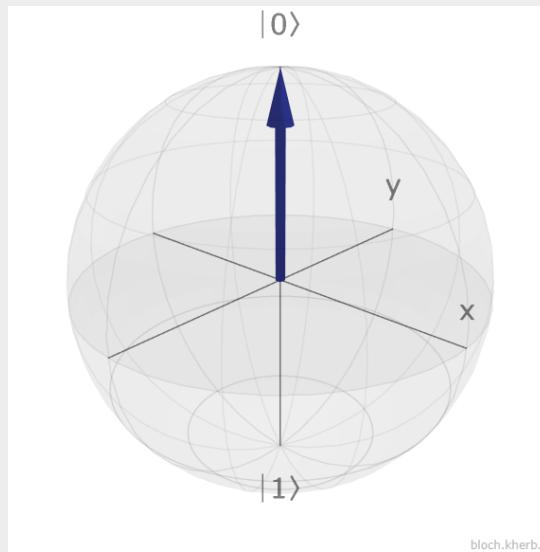


SAÍDA

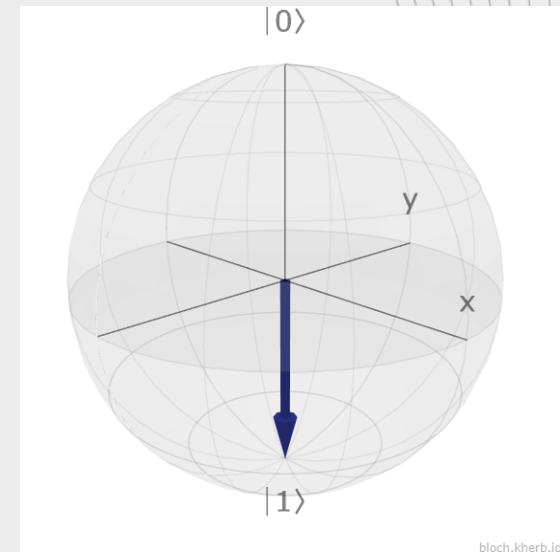
Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



$|1\rangle$



$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$



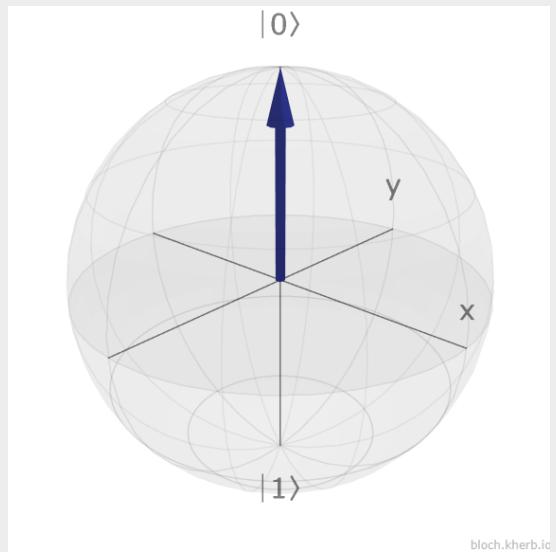
$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

Portas Lógicas Quânticas - NOT (Pauli X)

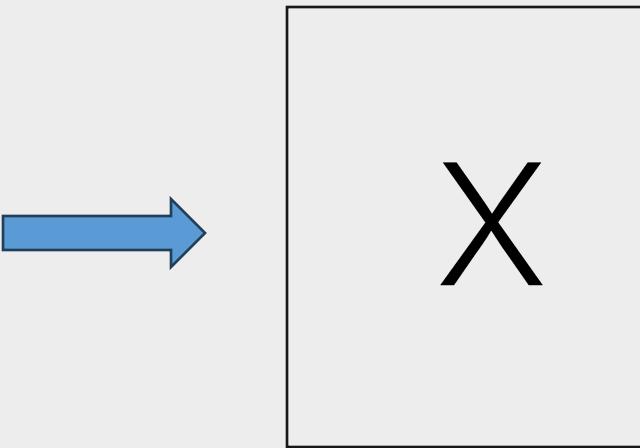


$|0\rangle$

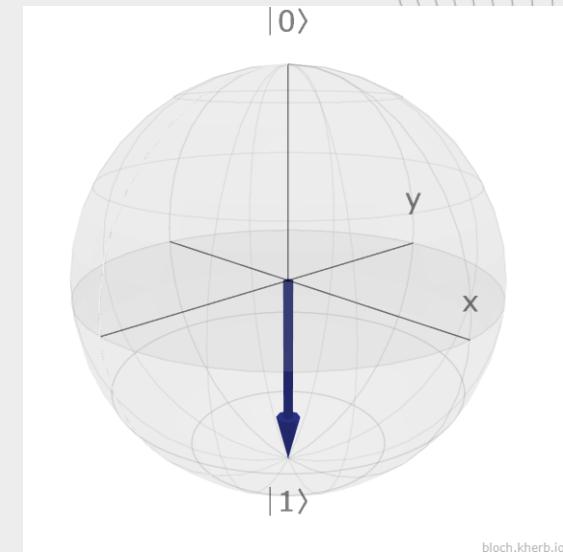
$|1\rangle$



ENTRADA

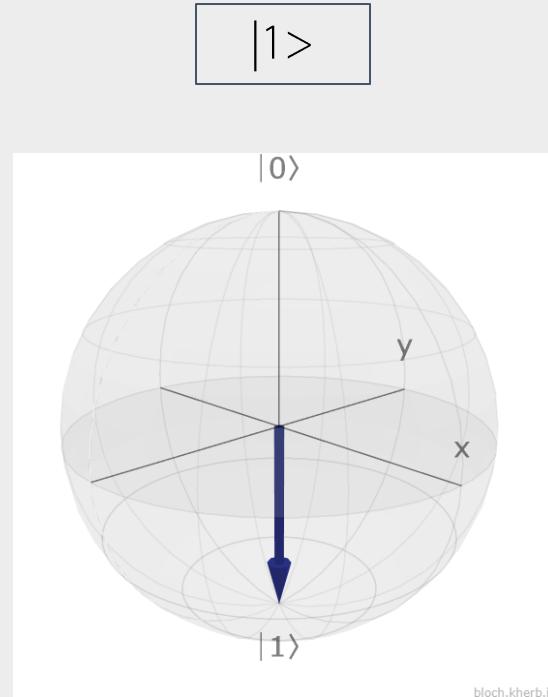


$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{NOT}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

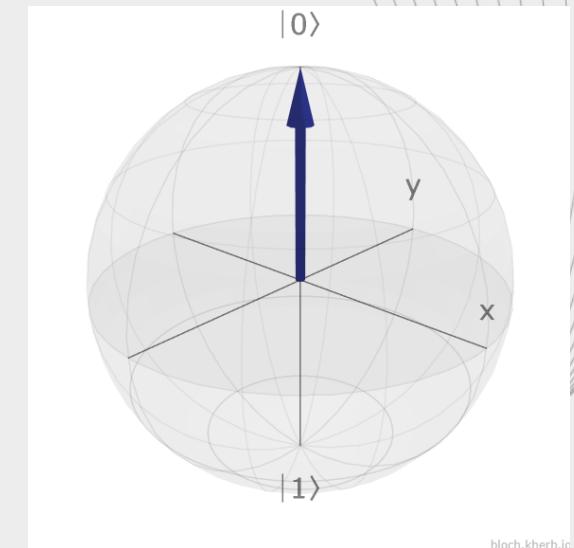
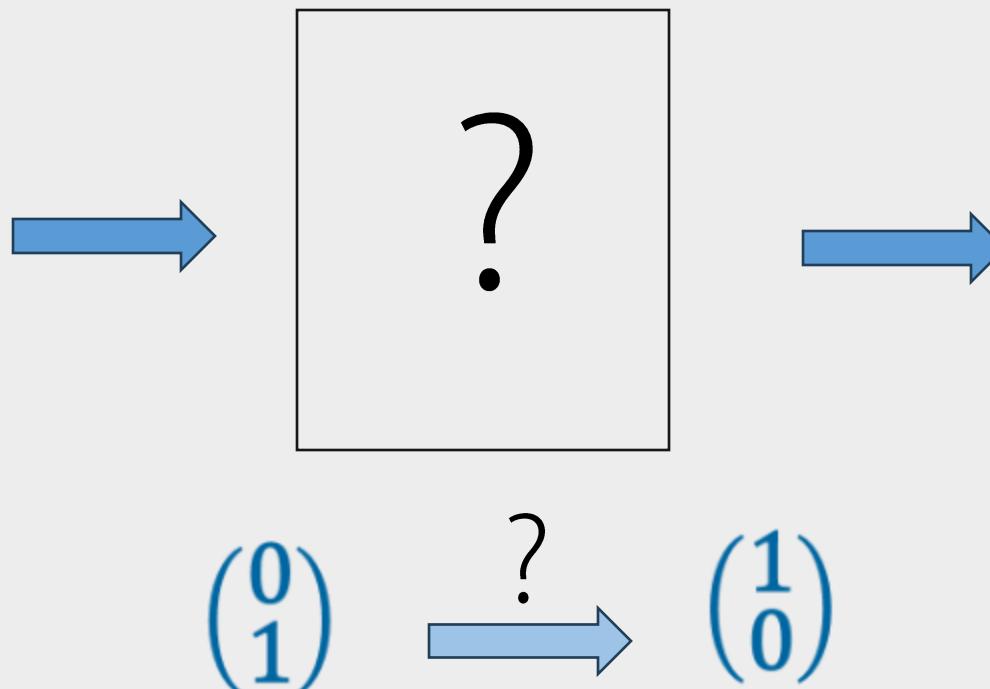


SAÍDA

Portas Lógicas Quânticas

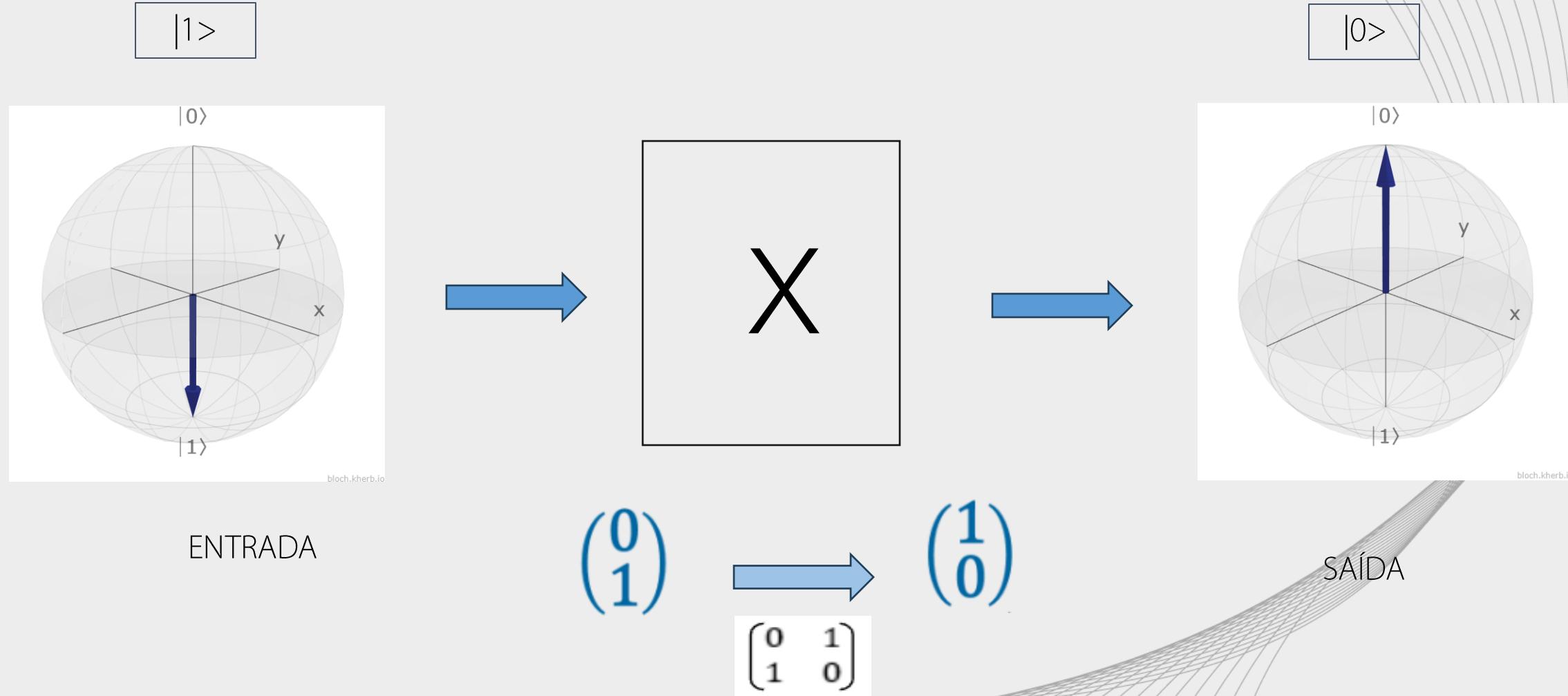


ENTRADA



SAÍDA

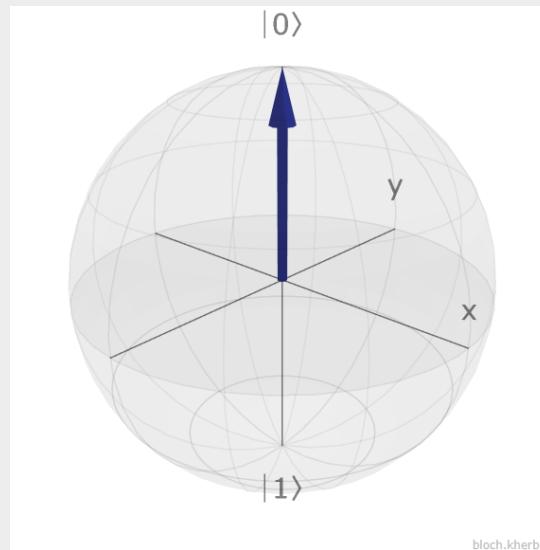
Portas Lógicas Quânticas - NOT (Pauli X)



Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



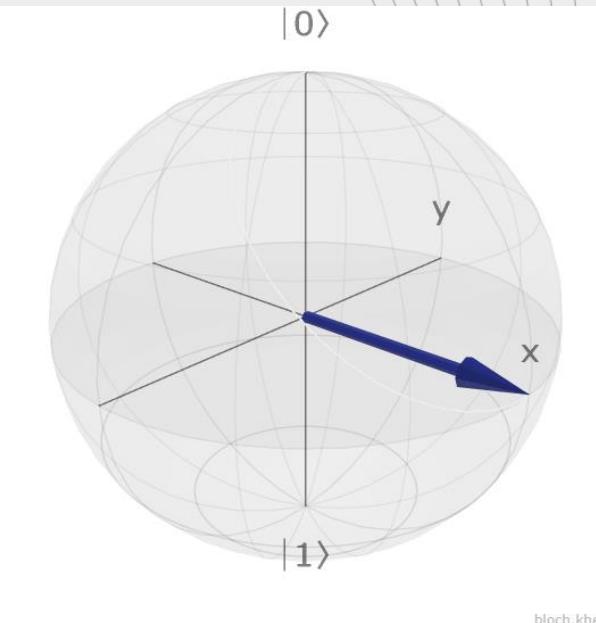
ENTRADA

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

?

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle) / 2^{(1/2)}$

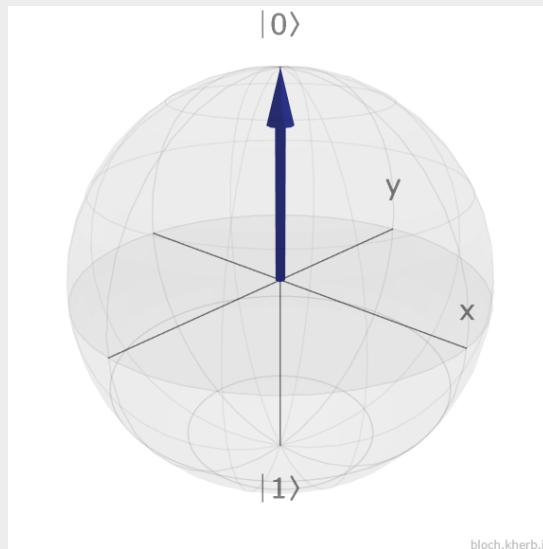


SAÍDA

Portas Lógicas Quânticas - Hadamard



$|0\rangle$



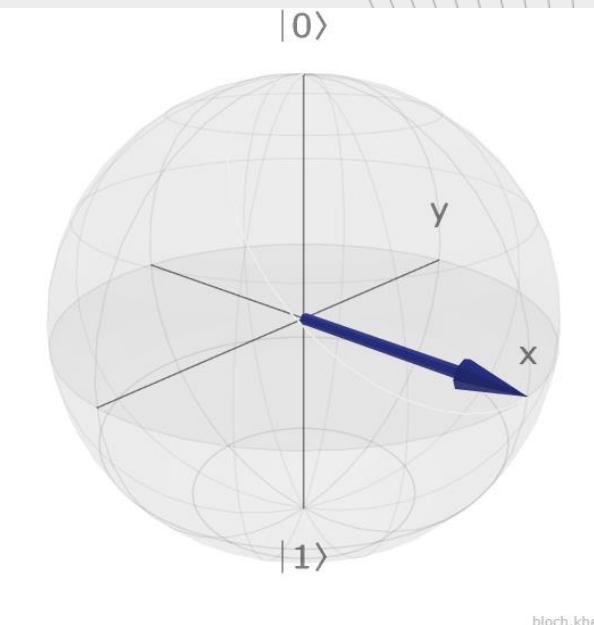
ENTRADA

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

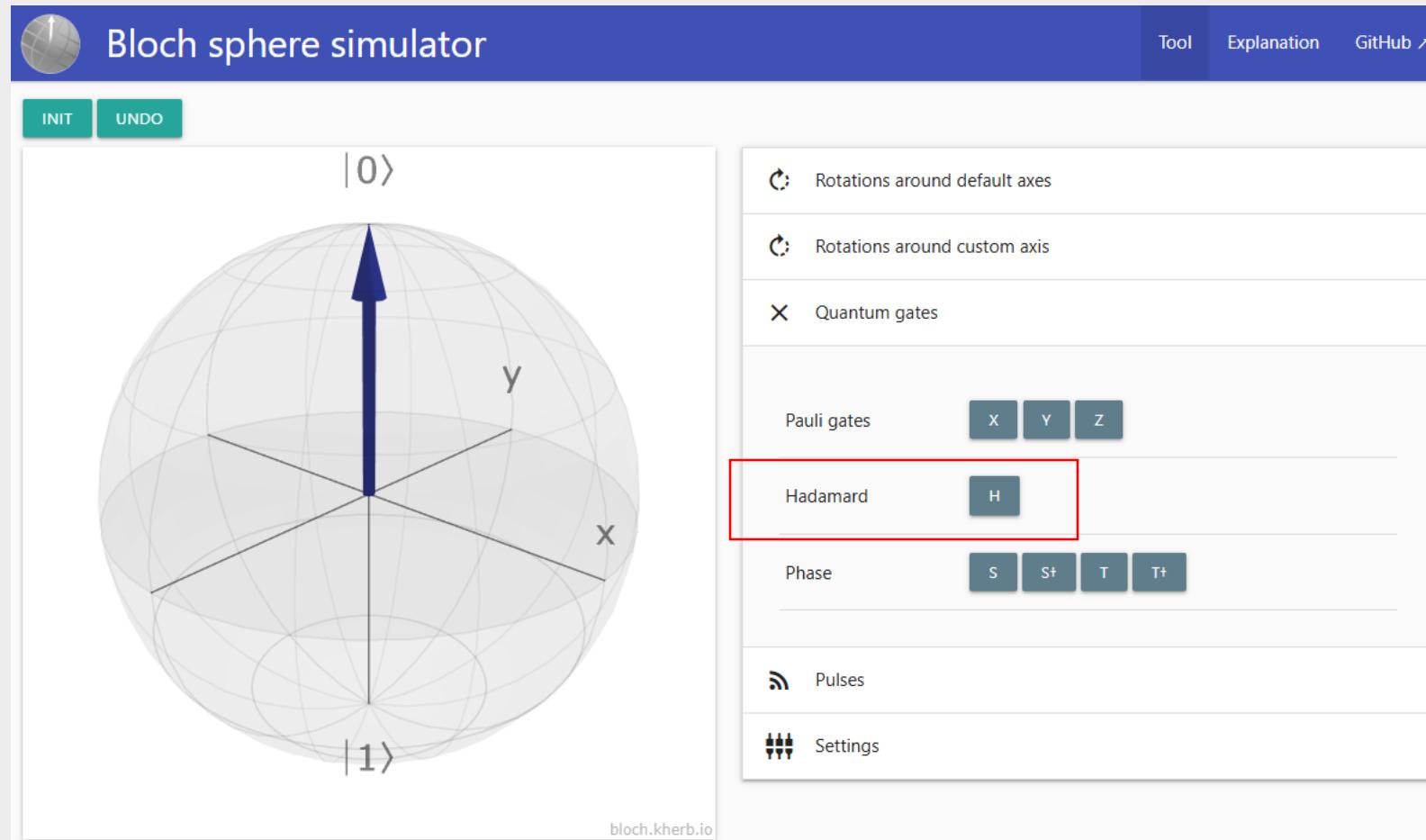
$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle) / 2^{(1/2)}$



SAÍDA

Porta Hadamard e Esfera de Bloch



USE O SITE

<https://bloch.kherb.io/>

Hands on - Porta Hadamard e Esfera de Bloch

- 1) O que ocorre se aplicarmos as seguintes portas quânticas no estado $|0\rangle$?
 - a) Hadamard
 - b) NOT (Pauli X) , Hadamard
 - c) Hadamard, NOT (Pauli X)
 - d) Hadamard, Hadamard
 - E) NOT, NOT

USE O SITE

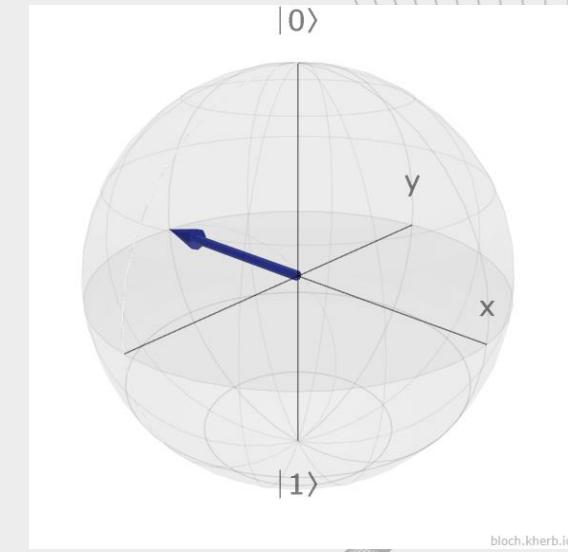
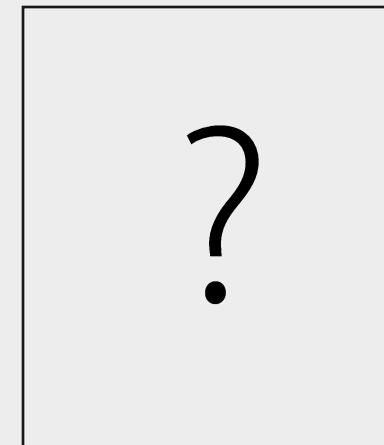
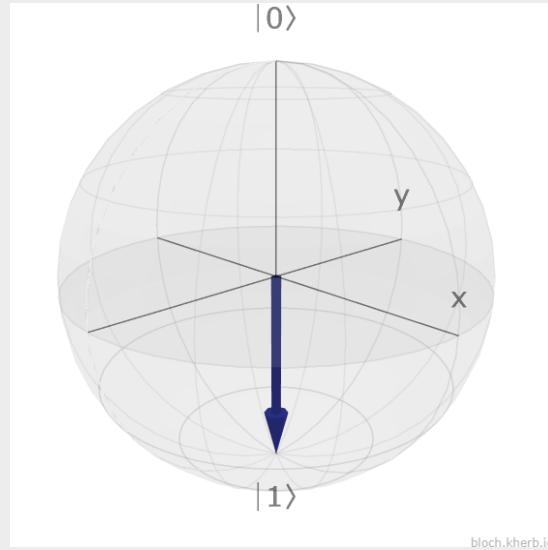
<https://bloch.kherb.io/>

Portas Lógicas Quânticas



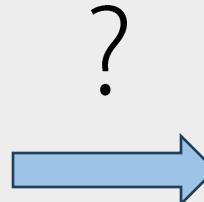
$|1\rangle$

$$|-\rangle = (|0\rangle - |1\rangle) / 2^{(1/2)}$$



ENTRADA

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$



$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

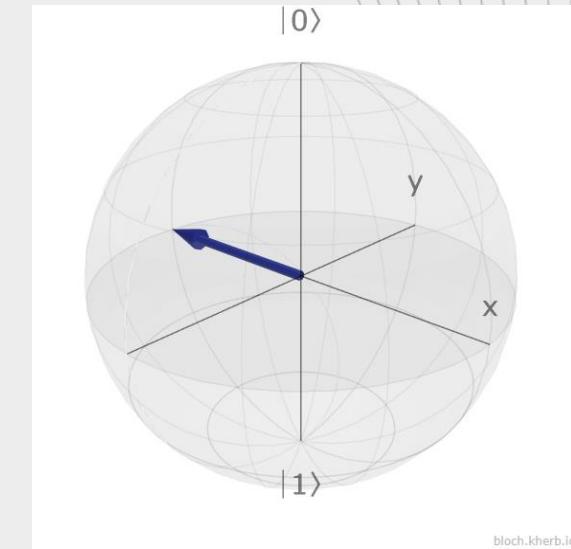
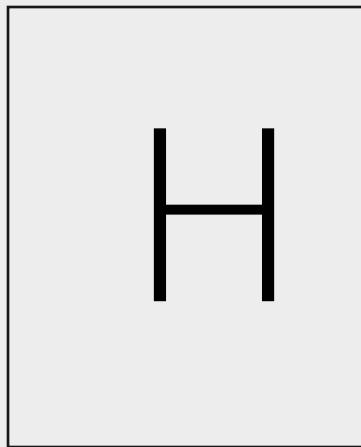
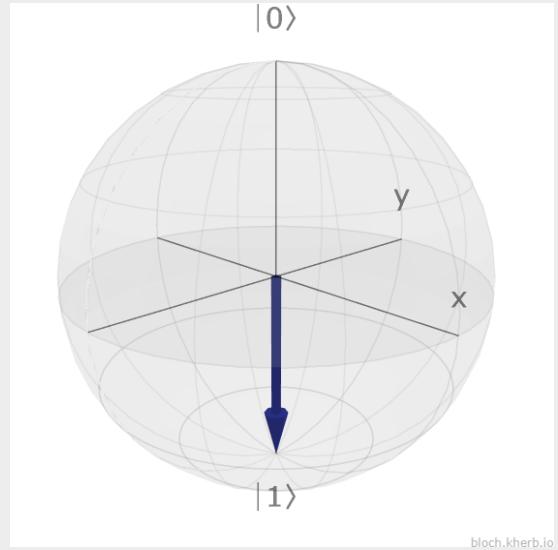
SAÍDA

Portas Lógicas Quânticas- Hadamard



$|1\rangle$

$$|-\rangle = (|0\rangle - |1\rangle) / 2^{(1/2)}$$



ENTRADA

$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$



$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

SAÍDA

Porta Hadamard



- $H^2 = I$
- Aplicar H duas vezes em um mesmo estado não irá fazer nada
- $H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$
- $H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$

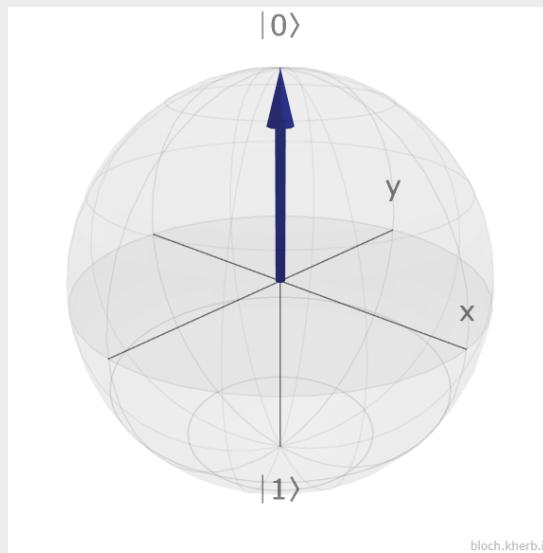
Matrizes de Pauli

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

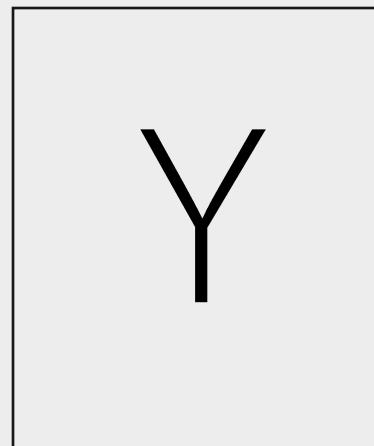
Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



ENTRADA



?

SAÍDA

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

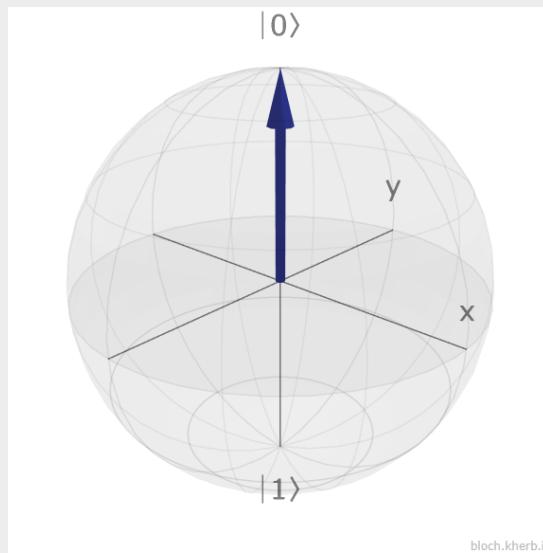


?

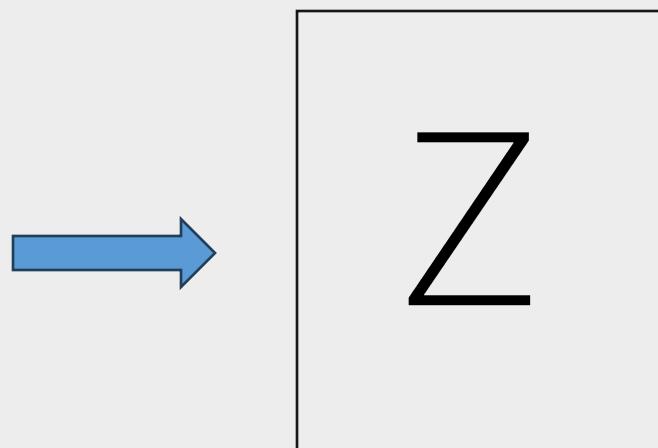
Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



ENTRADA



?

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$
A blue arrow pointing to the right, indicating the flow of the quantum circuit.

?

SAÍDA

Matrizes de Pauli

Bloch sphere simulator

INIT UNDO

|0>

y

x

|1>

bloch.kherb.io

Tool Explanation GitHub ↗

Rotations around default axes

Rotations around custom axis

Quantum gates

Pauli gates X Y Z

Hadamard H

Phase S S† T T†

Pulses

Settings

A screenshot of the Bloch sphere simulator interface. The main area shows a 3D grid sphere with a vertical blue arrow pointing upwards, labeled '|0>'. The horizontal axes are labeled 'y' and 'x'. At the bottom, there are labels '|0>' and '|1>'. Below the sphere are two green buttons: 'INIT' and 'UNDO'. To the right is a sidebar with various quantum operations: 'Rotations around default axes', 'Rotations around custom axis', 'Quantum gates' (with a red box around the 'Pauli gates' section), 'Hadamard' (with a red box around the 'H' button), 'Phase' (with buttons for 'S', 'S†', 'T', and 'T†'), 'Pulses', and 'Settings'. The URL 'bloch.kherb.io' is at the bottom left, and the top right features a decorative background of wavy lines.

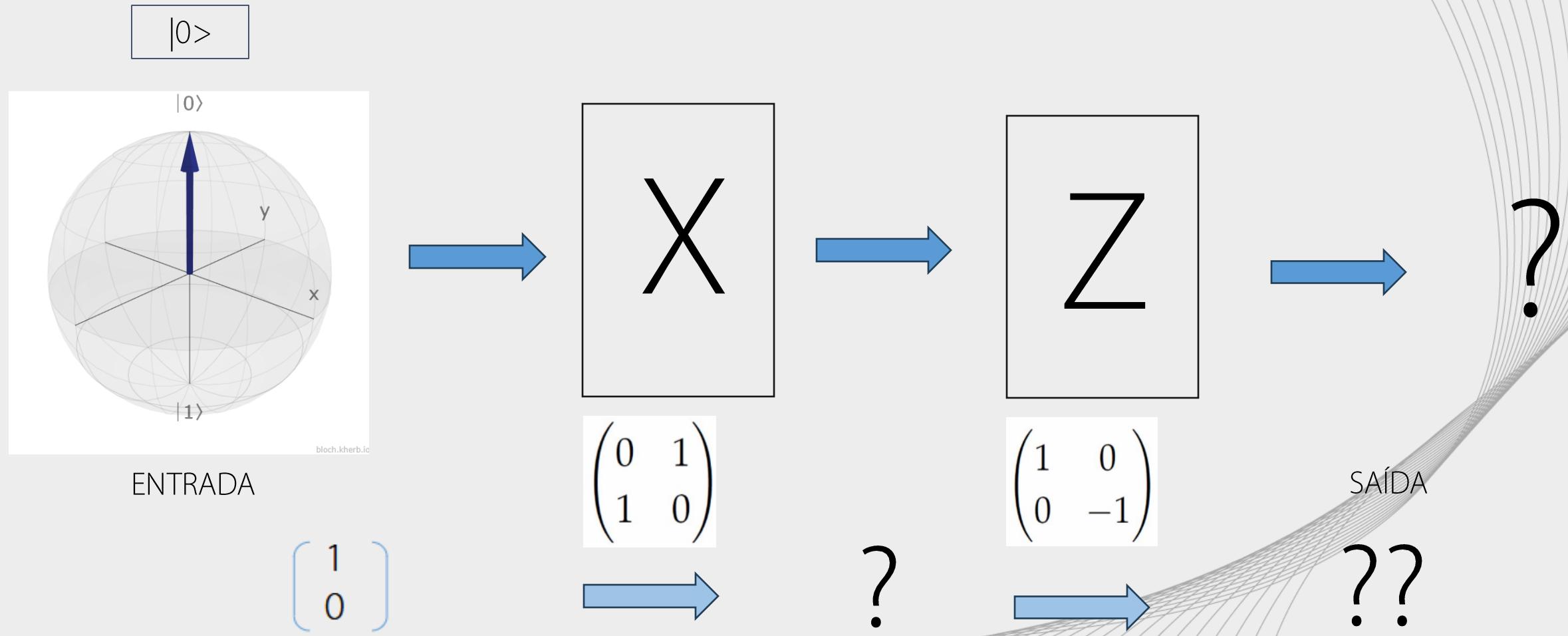
Hands on - Matrizes de Pauli e Esfera de Bloch

- 1) Implemente a **Pauli X**, o que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 2) Implemente a **Pauli Y**, o que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 3) Implemente a **Pauli Z**, o que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?

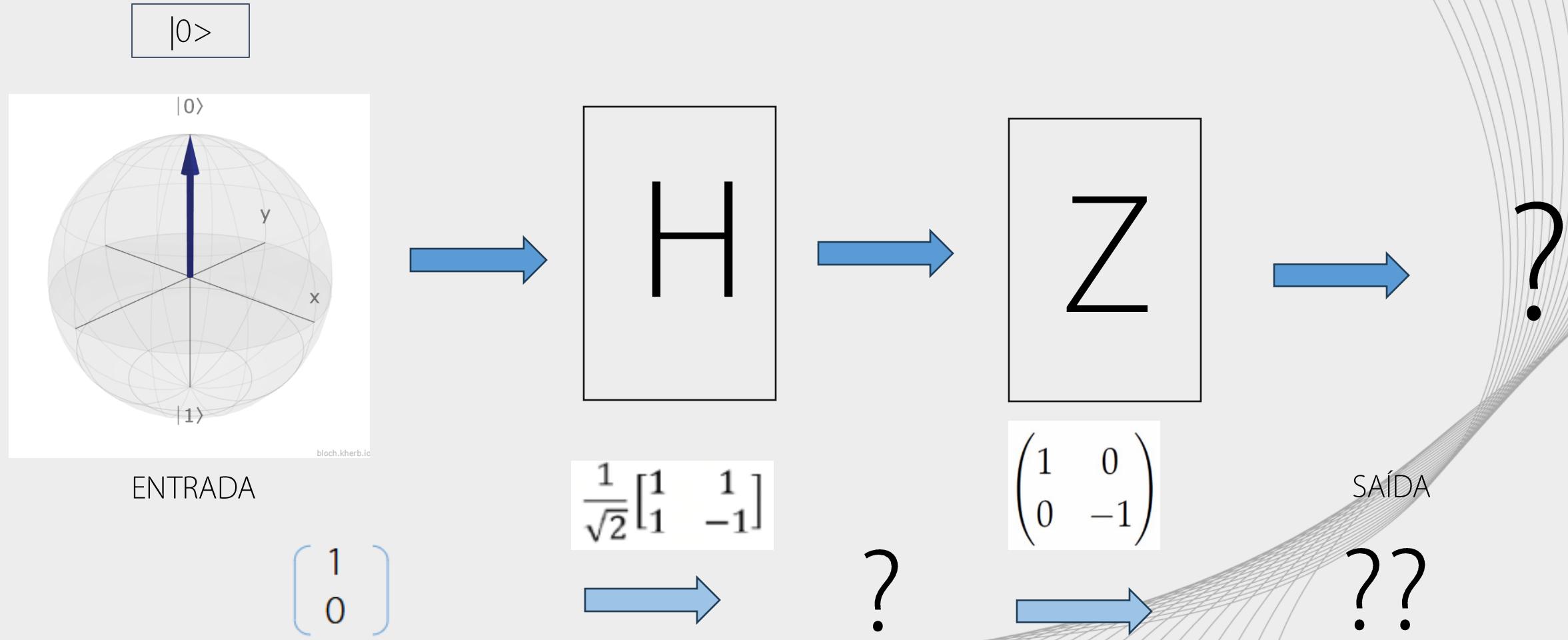
USE O SITE

<https://bloch.kherb.io/>

Portas Lógicas Quânticas em Sequência



Portas Lógicas Quânticas em Sequência



Hands on - Matrizes de Pauli e Esfera de Bloch

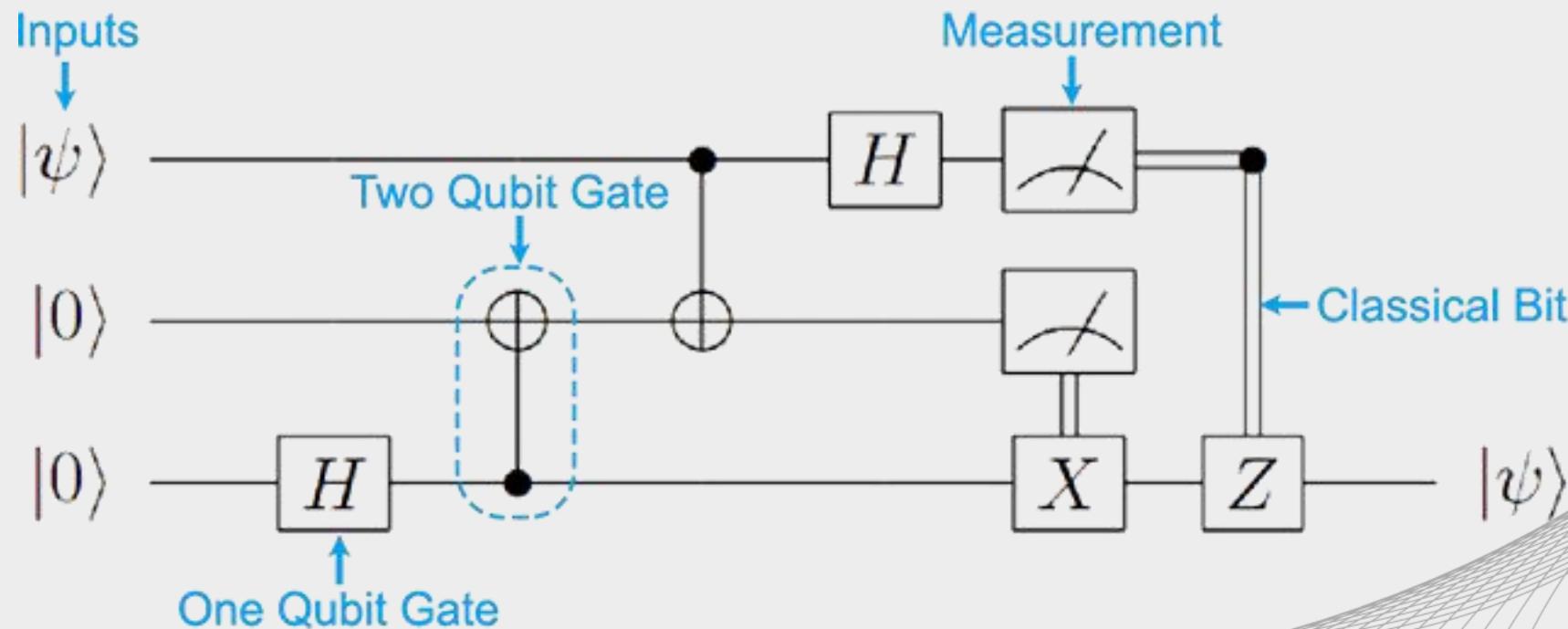
- 1) Implemente a **Pauli X** e na sequência uma **Pauli Z**. O que ocorreu com o estado $|0\rangle$?
- 2) Implemente a **Pauli Y** e na sequência uma **Pauli Z**. O que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 3) Implemente a **porta Hadamard** e na sequência uma **Pauli Z**. O que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 4) Implemente a **porta Hadamard** e na sequência uma **Pauli Y**. O que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?

USE O SITE

<https://bloch.kherb.io/>

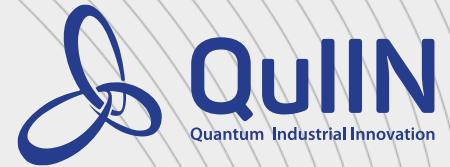
Circuitos Quânticos

- Representa a evolução temporal do estado
- Cada linha é um qubit
- O circuito é lido da esquerda pra direita
- Cada caixa é uma porta quântica



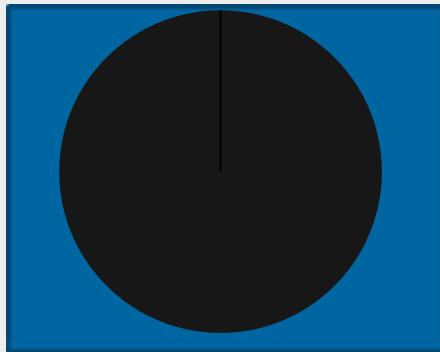
Círculo do Teleporte

Sistemas Compostos



- 1 bit clássico: 0 or 1, Branco ou Preto
- 1 qubit: superposição do branco $|0\rangle$ e preto $|1\rangle$

Medição



Inicializando o qubit:
Escolhemos nesse exemplo
30% Branco - $|0\rangle$
70% Preto - $|1\rangle$

O qubit está em um estado cinza

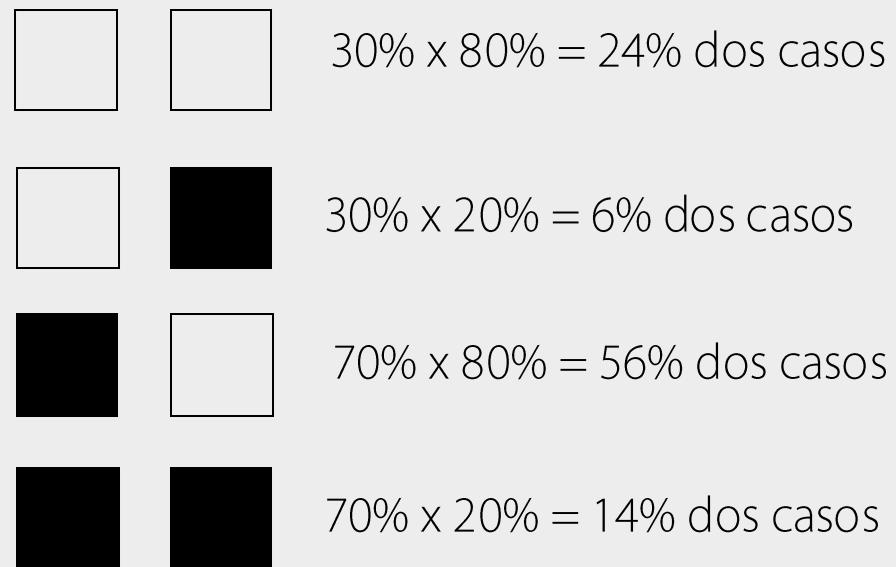
Não observamos o qubit

Quando você olha para ele, o qubit assume a cor
vista

Se você quiser obter outro resultado: tente
novamente desde o início

Dois qubits

- 2 qubits = 4 Estados



Soma das prob.= 100 % (sempre)

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

$$|\psi_{tot}\rangle = |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

$$\begin{aligned} |\psi_{tot}\rangle &= |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle \\ &= |\psi_0\rangle |\psi_1\rangle \end{aligned}$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$
$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

$$|\psi_{tot}\rangle = |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle$$
$$= |\psi_0\rangle |\psi_1\rangle$$
$$= |\psi_0\psi_1\rangle$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$\begin{aligned} |\psi_{tot}\rangle &= \alpha_0\alpha_1|00\rangle + \alpha_0\beta_1|01\rangle \\ &\quad + \beta_0\alpha_1|10\rangle + \beta_0\beta_1|11\rangle \\ &= \alpha_0\alpha_1|0\rangle + \alpha_0\beta_1|1\rangle \\ &\quad + \beta_0\alpha_1|2\rangle + \beta_0\beta_1|3\rangle \end{aligned}$$

Base Computacional



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base Computacional



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |1\rangle$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base Computacional



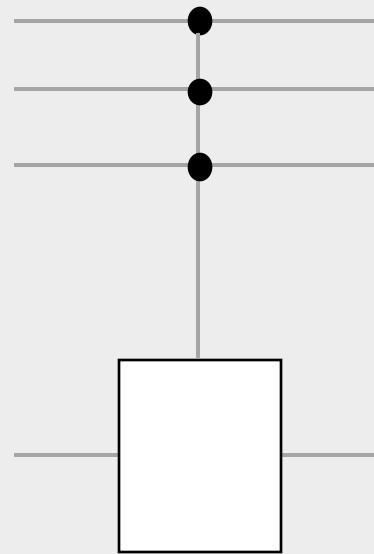
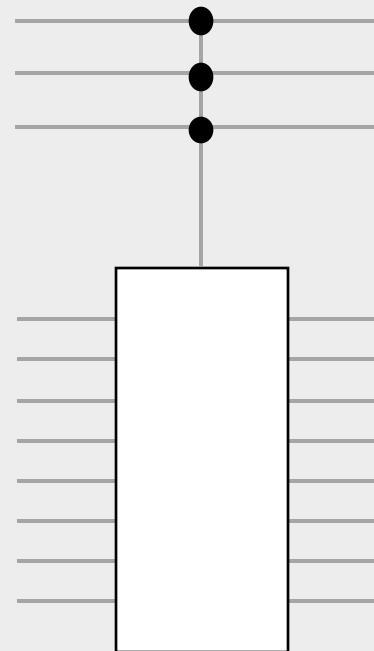
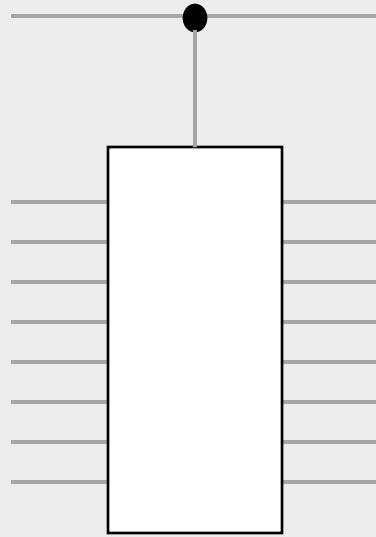
$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = |1\rangle$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base Computacional



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = |1\rangle$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

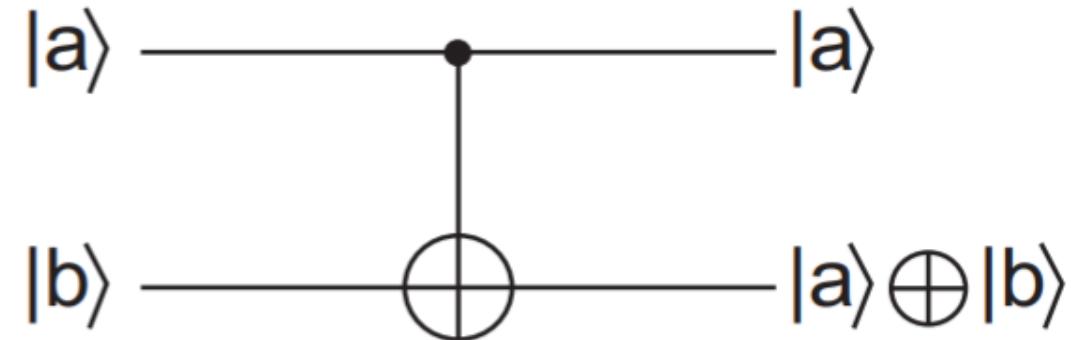
Portas Lógicas Quânticas - Controladas



Porta CNOT

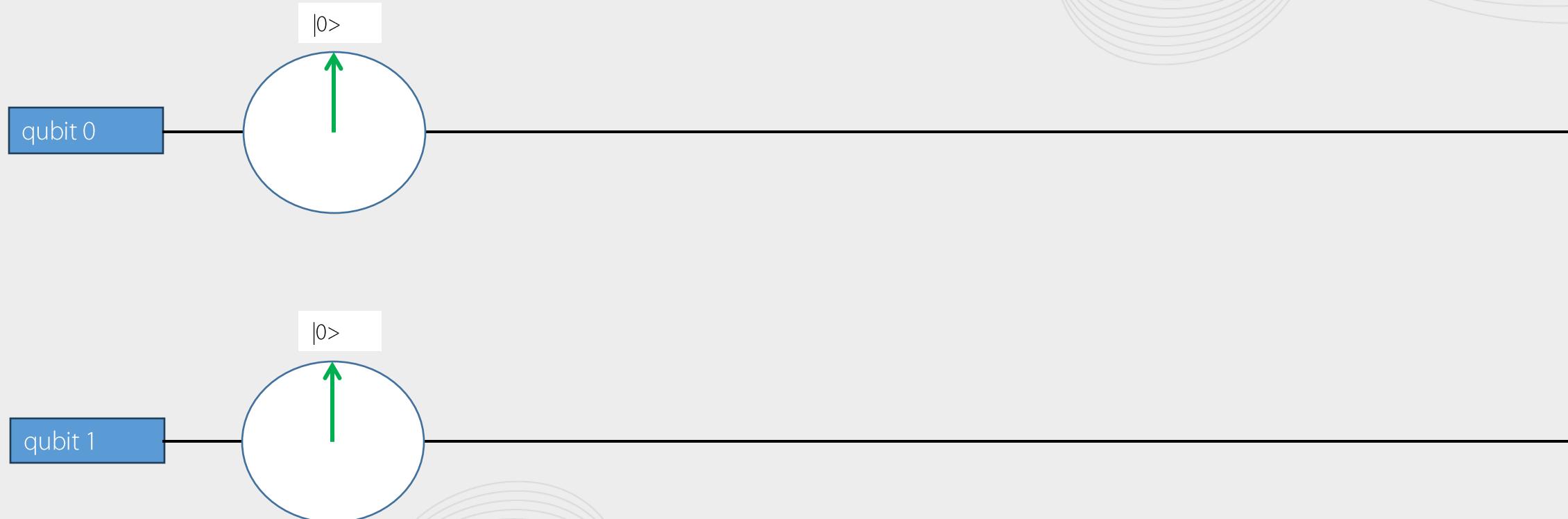
- ▶ *Controlled Not*
- ▶ Se o controle for 0, não é feito nada no alvo, caso o controle for 1, então ele irá mudar o alvo

▶ Representada nos circuitos como:

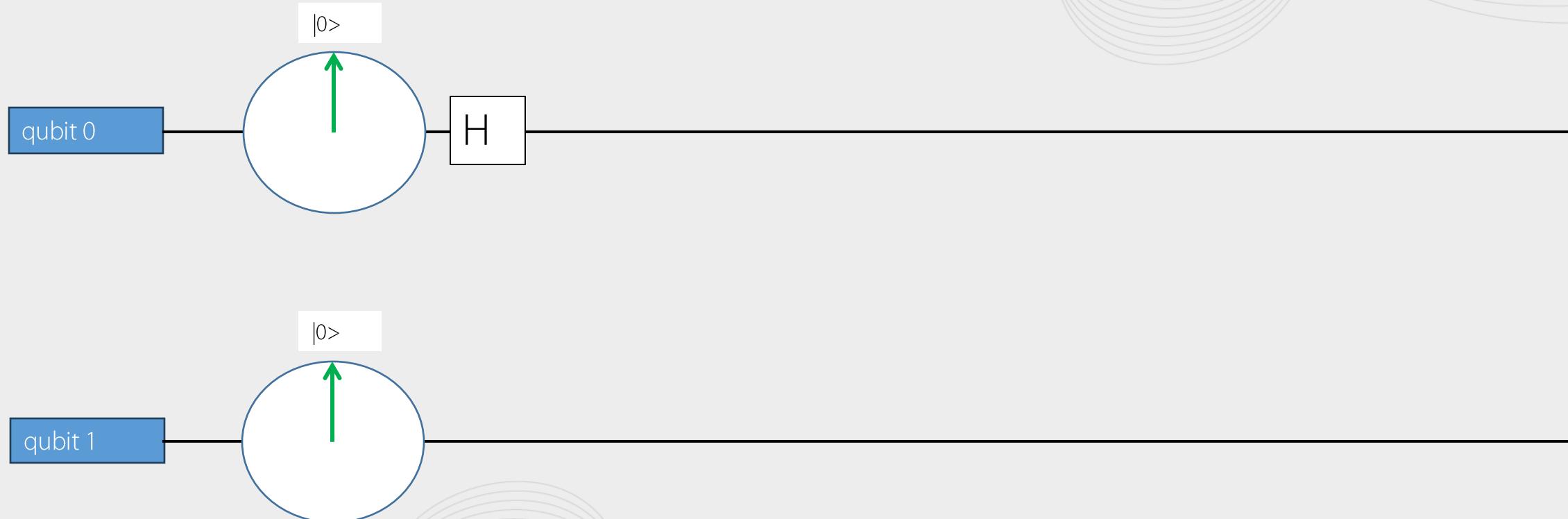


$$CNOT = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

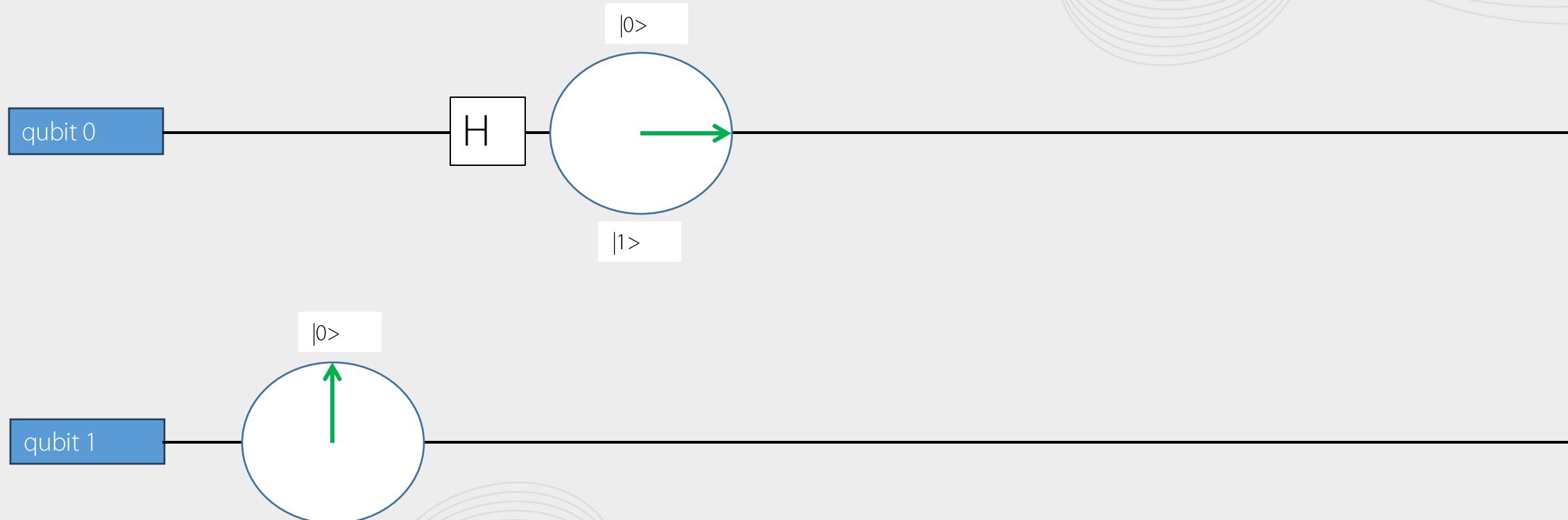
Porta CNOT



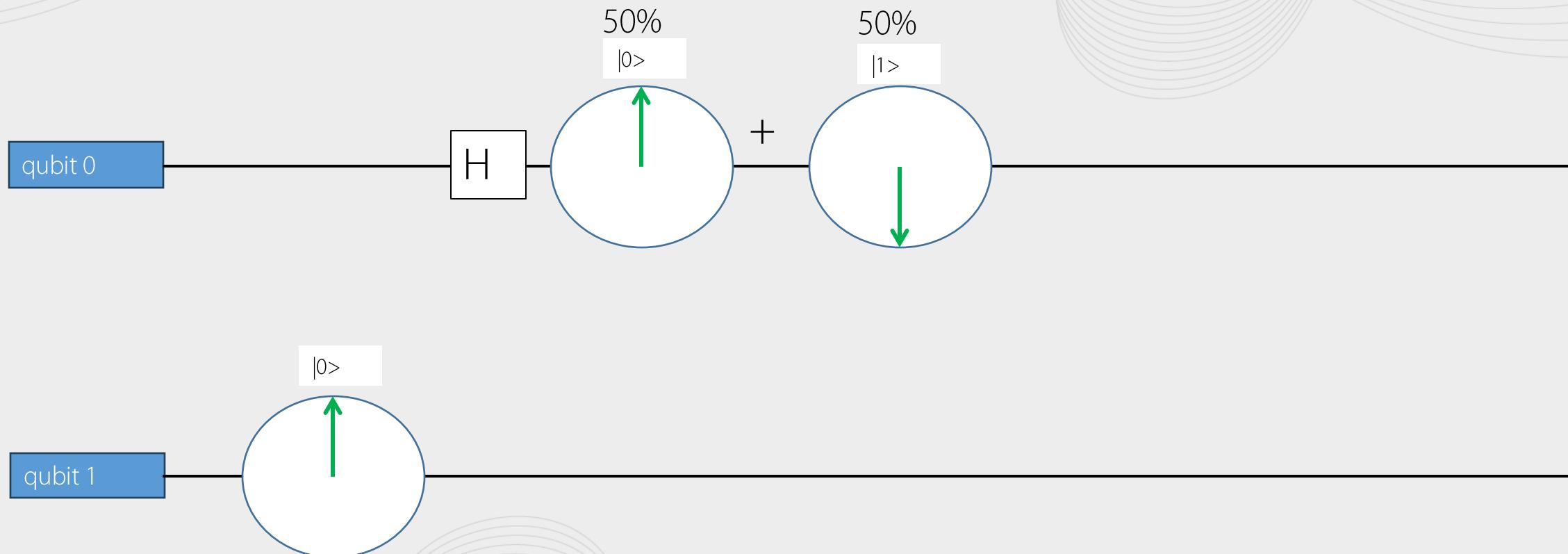
Porta CNOT



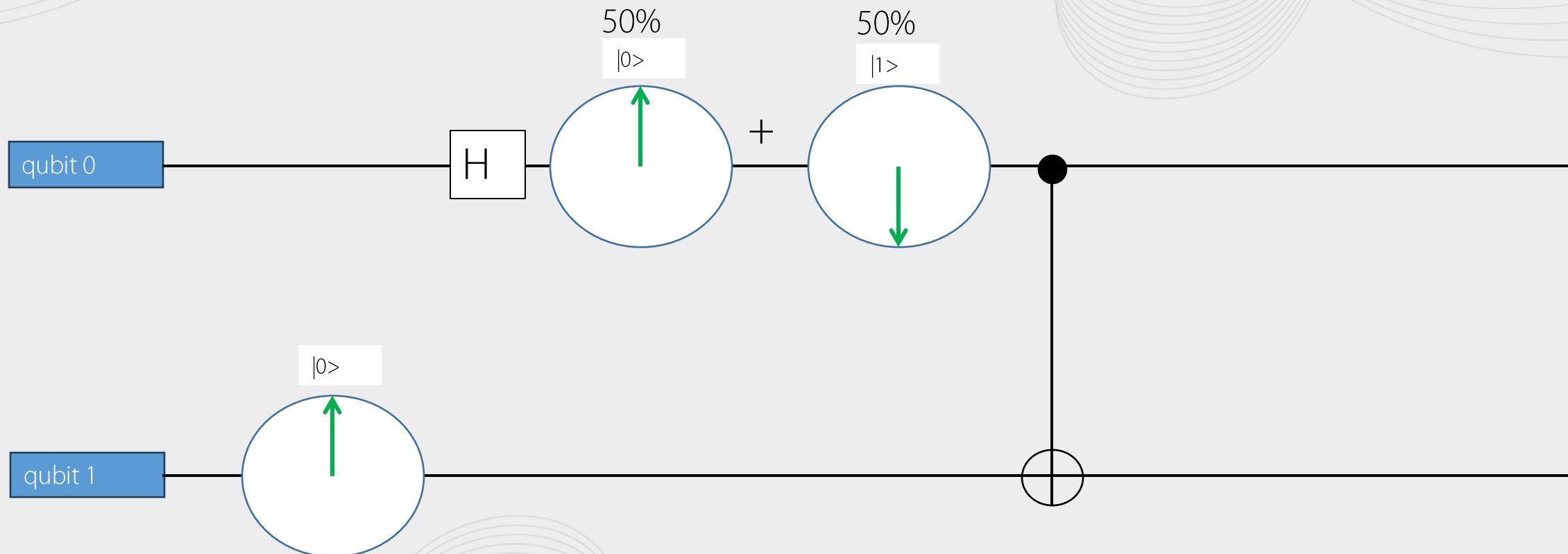
Porta CNOT



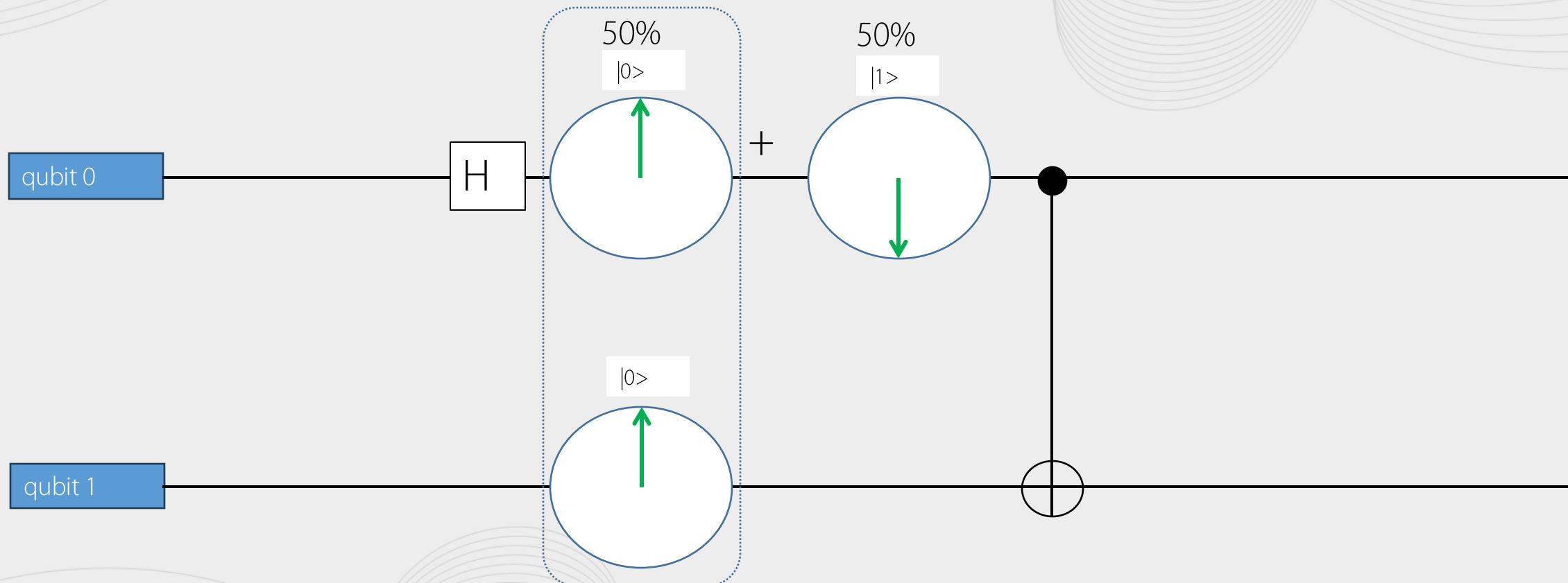
Porta CNOT



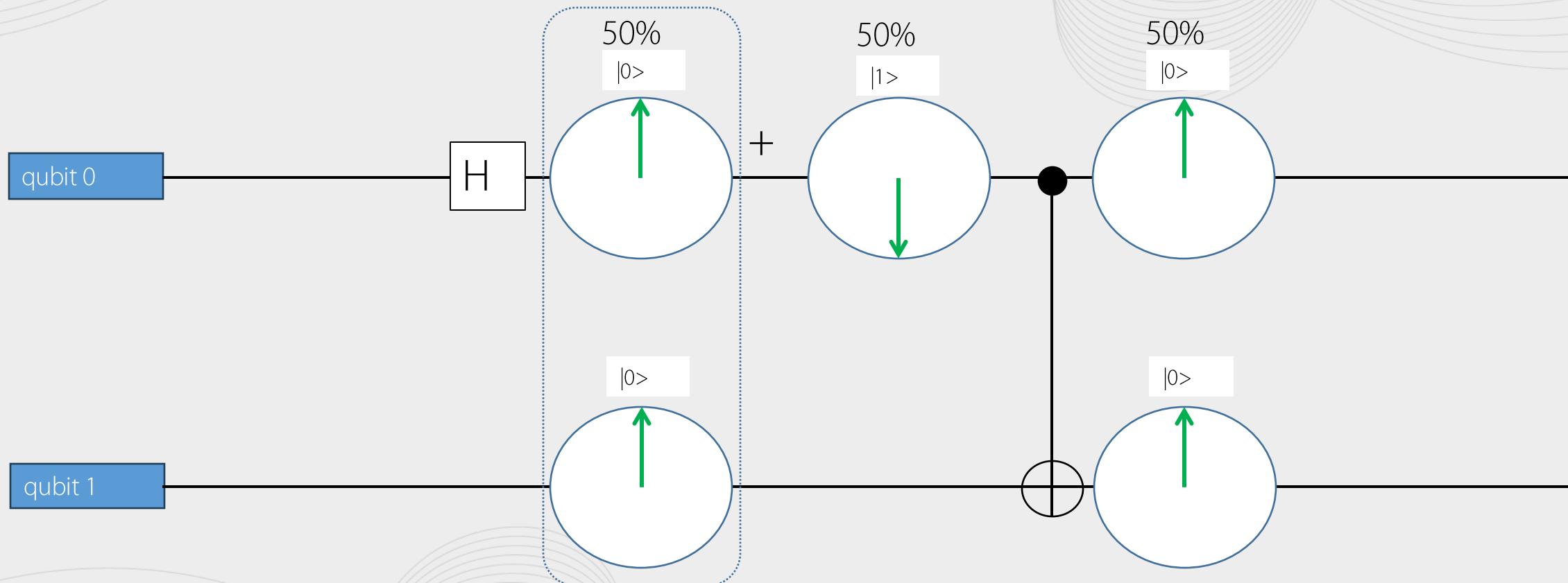
Porta CNOT



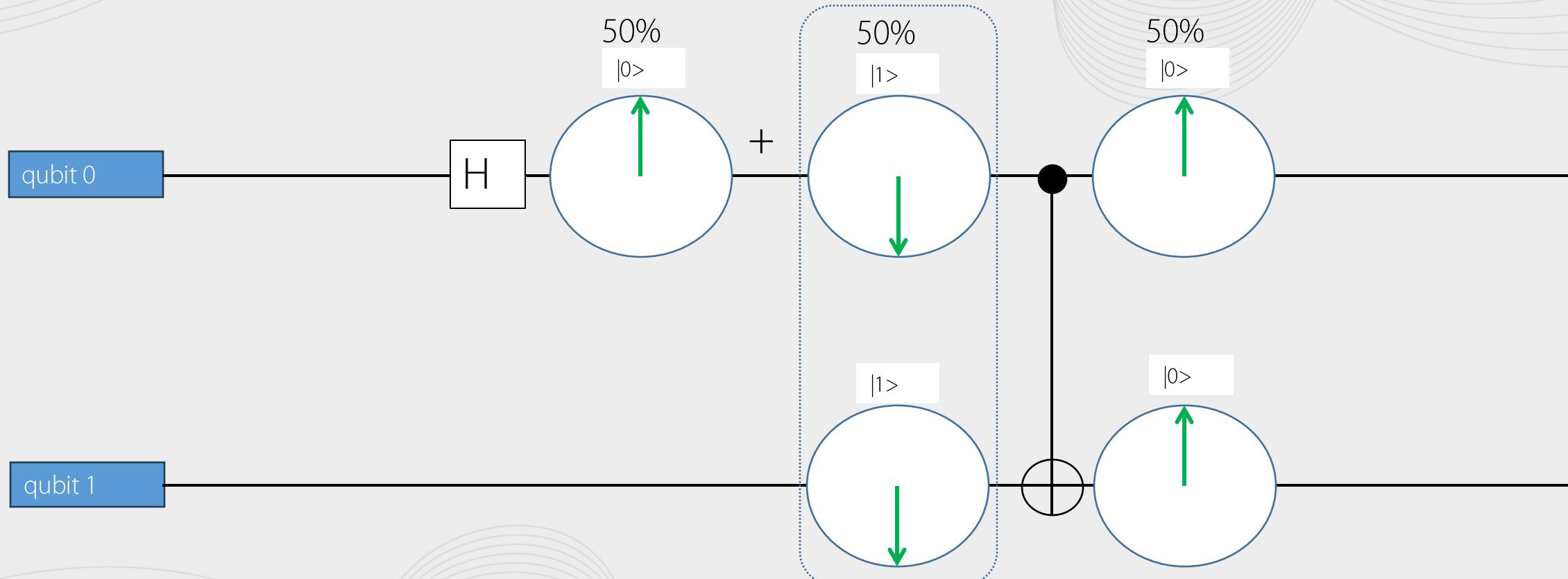
Porta CNOT



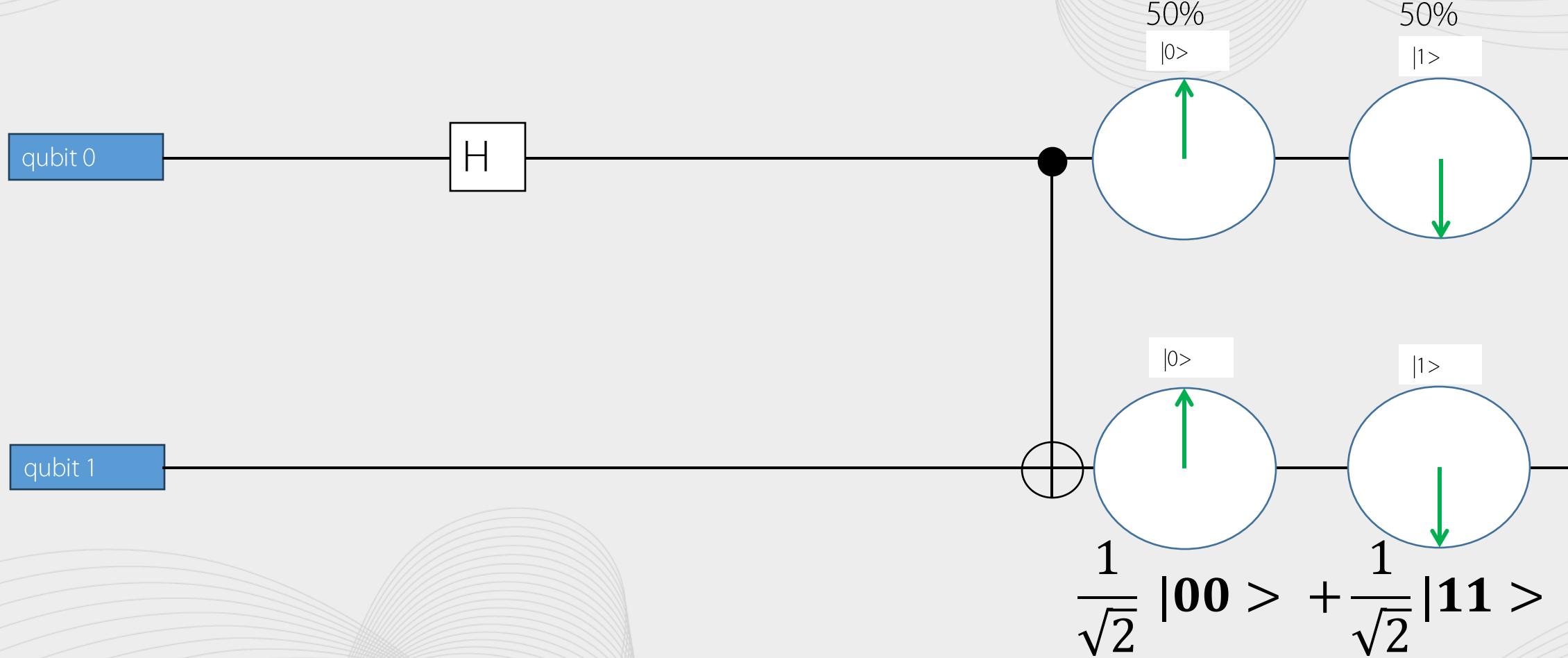
Porta CNOT



Porta CNOT



Porta CNOT



Qiskit

- Termo geral que se refere a uma coleção de software para executar programas em computadores quânticos, desenvolvido pela IBM.
- Quanto ao SDK Qiskit é um SDK de código aberto para trabalhar com computadores quânticos no nível de circuitos quânticos estendidos (estáticos, dinâmicos e programados), operadores e primitivos.

qiskit.circuit - Para inicializar e manipular registradores, circuitos, instruções, portas, parâmetros e objetos de fluxo de controle.

qiskit.circuit.library- Uma vasta gama de circuitos, instruções e portas - blocos de construção essenciais para computações quânticas baseadas em circuitos.

- Para mais informações: <https://docs.quantum.ibm.com/guides>

Qiskit

```
# Instalando o Qiskit
```

```
!pip install qiskit
```

```
# Para uma melhor visualização dos circuitos
```

```
!pip install pylatexenc
```

Para criar um circuito é necessário importar algumas bibliotecas:

```
from qiskit import QuantumCircuit  
from qiskit.providers.basic_provider import BasicProvider  
from qiskit.visualization import plot_histogram  
from qiskit.visualization import circuit_drawer  
import pylatexenc
```

Qiskit – Estrutura básica para o hands on

```
#criacao do circuito quantico com 1 qubit e 1 registrador clássico
qc = QuantumCircuit( 'quantidade de qubits', 'quantidade de registradores clássicos')

qc.'porta que deseja aplicar'('qubit onde a porta será aplicada')

qc.measure_all() #Mede o estado do qubit e armazena o resultado no registrador clássico.

qc.measure('qubit','registrador clássico') # É possível realizar a medição dessa forma também
```

Qiskit – Estrutura básica para o hands on

```
#utilizando o QASM Simulator
backend = BasicProvider().get_backend("basic_simulator") # Define um simulador quântico (basic_simulator do
# Caso deseje uma quantidade específica de execuções:
result = backend.run(qc, shots=2048).result()

result = backend.run(qc).result() # Executa o circuito e obtém o resultado da simulação
counts = result.get_counts() # O resultado é armazenado na variável counts, que contém a contagem dos estados

print(counts)
qc.draw() # Desenha o circuito quântico de forma visual.
```

Hands On: Implementando Portas Lógicas Quânticas

- 1) Implemente a porta X em um qubit inicialmente no estado $|0\rangle$ e meça o resultado.
- 2) Agora, implemente a porta X novamente, mas desta vez atuando em um qubit previamente preparado no estado $|1\rangle$. Meça o resultado.
- 3) Aplique a porta H em um qubit e realize a medição.
- 4) Repita os experimentos anteriores realizando apenas uma medição (shot = 1). O que você observa?
- 5) Agora, repita os experimentos utilizando 100 medições (shots = 100). Qual a sua conclusão sobre os resultados obtidos?
- 6) Represente graficamente os resultados das atividades 1, 2 e 3 na esfera de Bloch utilizando a ferramenta online: <https://bloch.kherb.io/>.

Hands On – Implementando Circuitos de 2 qubits

7. Crie um circuito quântico e implemente a porta CNOT.

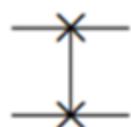
8. Crie um circuito quântico com a porta CNOT implementada, porém ela deve ativar quando o qubit de controle estiver no estado $|1\rangle$

[Discussão] Como representamos a CNOT na esfera de Bloch?

POR TA SWAP

- Troca os estados de dois qubits,

Símbolo



Matriz

$$\text{SWAP} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Comportamento

$$\text{SWAP} |00\rangle = |00\rangle$$

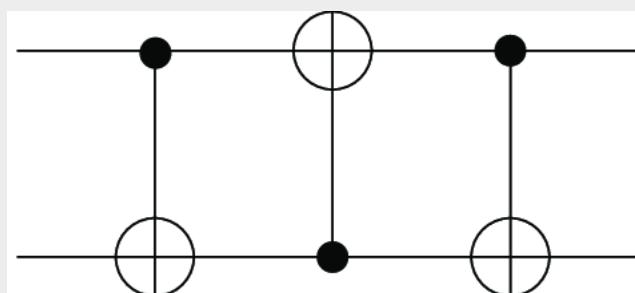
$$\text{SWAP} |01\rangle = |10\rangle$$

$$\text{SWAP} |10\rangle = |01\rangle$$

$$\text{SWAP} |11\rangle = |11\rangle$$

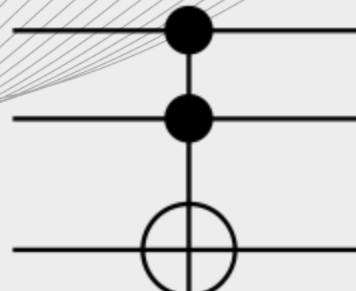
$$\text{SWAP} |ab\rangle = |ba\rangle$$

$$a,b=0,1$$

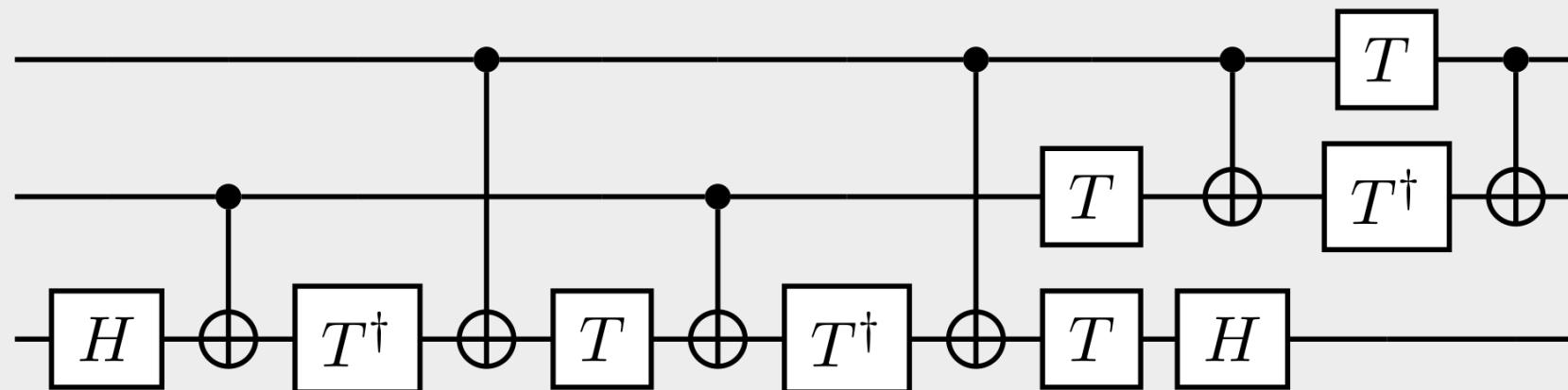


POR TA TOFFOLI

- Também conhecida como CCNOT, ativará a porta X no terceiro qubit mediante as condições dos dois qubits de controle serem atendidas.



$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

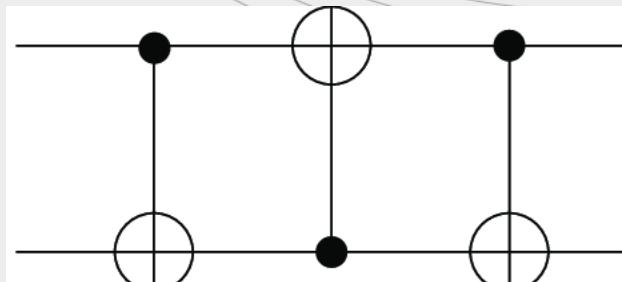


Hands On – Implementando Circuitos de 2 qubits

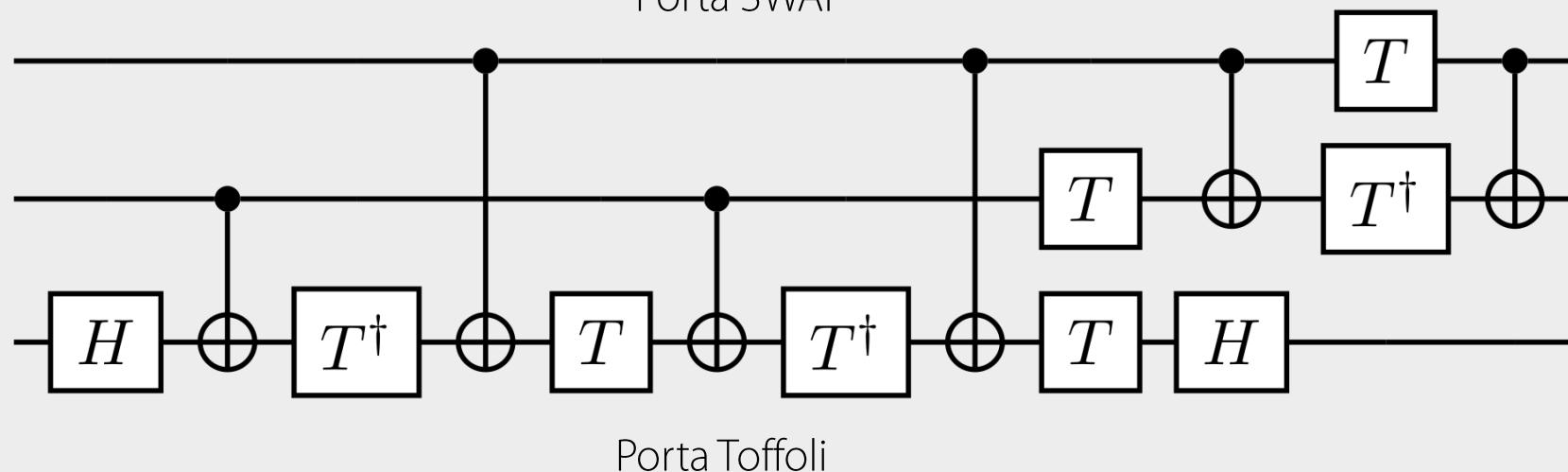
9. Crie um Circuito e Implemente a porta SWAP

10. Crie um Circuito e Implemente a porta Toffoli

11. [DESAFIO] Implemente as portas SWAP e Toffoli, através dos circuitos alternativos.



Porta SWAP



Porta Toffoli

Algoritmo de Deutsch

- Desenvolvido por David Deustch em 1985
- Primeiro algoritmo quântico a mostrar ganho computacional em relação a contrapartida clássica.

Problema de Deutsch: é um desafio da computação quântica onde temos um oráculo (uma "caixa preta") que implementa uma função $f:\{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$ que recebe um número binário de n bits e retorna 0 ou 1.
A função pode ser ou **balanceada**.

O objetivo é descobrir, com o menor número possível de chamadas ao oráculo, se a função é constante ou balanceada.

Solução Clássica

- Realizar metade das medições mais uma, ou seja
- Medir $2^{n-1} + 1$
- Quanto maior o problema



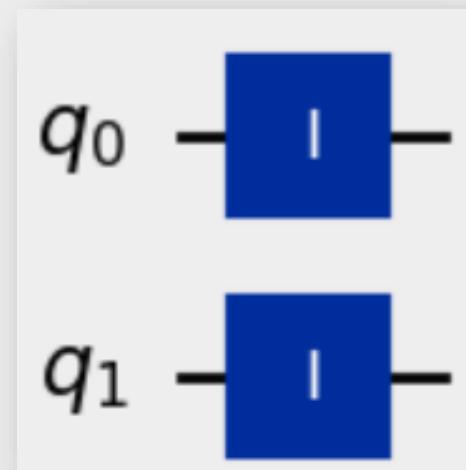
...i se tornando o

Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$

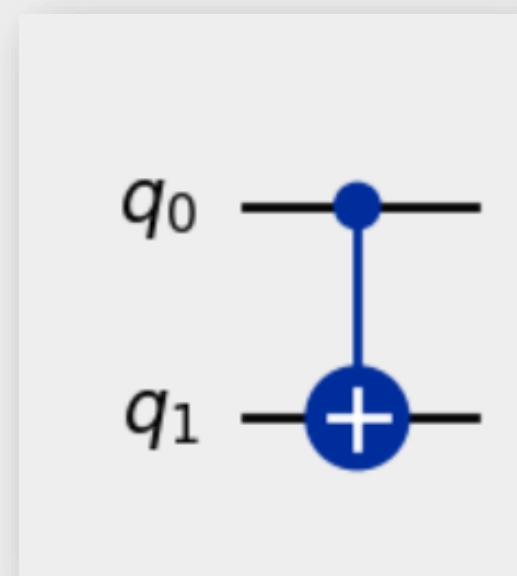
Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$



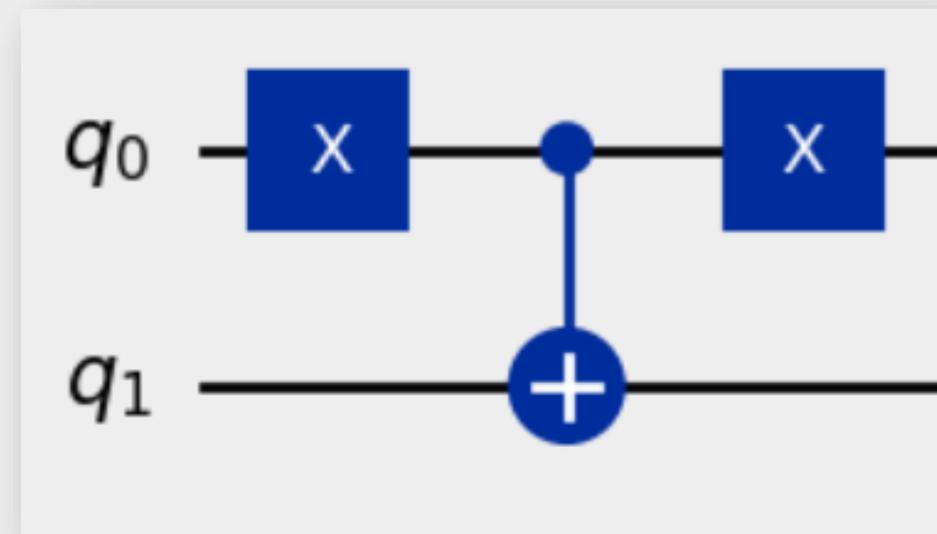
Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$



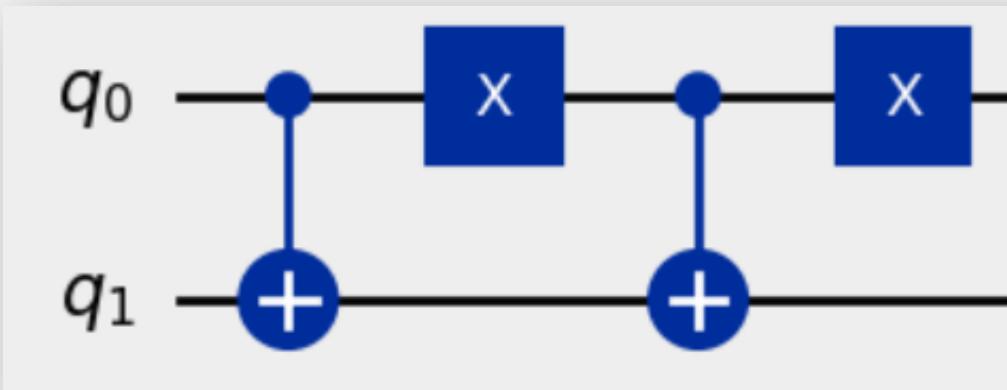
Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$



Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$

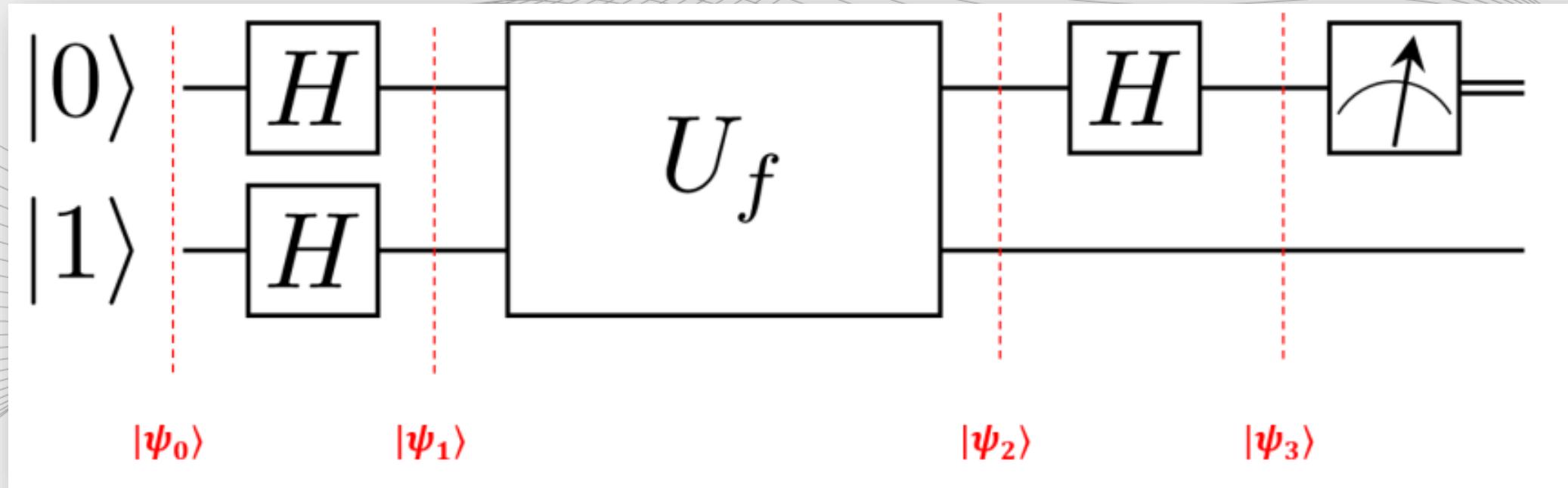


Solução Quântica

Algoritmo de Deustch

Entrada	$ 0\rangle \otimes 1\rangle$
Passo 1	Preparar os estados $ 0\rangle$ e $ 1\rangle$
Passo 2	Gerar superposição aplicando H nos qubits
Passo 3	Aplicar U_f
Passo 4	Aplicar H em todos qubits
Passo 5	Medir o primeiro qubit na base computacional
Saída	$\begin{cases} 0 & \text{se } f \text{ é constante} \\ 1 & \text{se } f \text{ é balanceada} \end{cases}$

Solução Quântica



Solução Quântica

$f(0) \oplus f(1)$	Saída	Tipo da função
$0 \oplus 0$	0	Constante
$0 \oplus 1$	1	Balanceada
$1 \oplus 0$	1	Balanceada
$1 \oplus 1$	0	Constante

Implementando o Circuito de Deustch

```
from qiskit import QuantumCircuit  
from qiskit.providers.basic_provider import BasicProvider  
from qiskit.visualization import plot_histogram  
from qiskit.visualization import circuit_drawer  
import pylatexenc
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
def deutsch_function(case: int):
    # Essa função gera um circuito quântico para um dos quatro casos possíveis.
    if case not in [1, 2, 3, 4]:
        raise ValueError(`case` must be 1, 2, 3, or 4.)

    f = QuantumCircuit(2)
    if case in [2, 3]:
        f.cx(0, 1)
    if case in [3, 4]:
        f.x(1)

    return f
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
for i in range(1, 5):
    qc = deutsch_function(i)
    print(f"Circuito para o caso {i}:")
    display(qc.draw(output="mpl", style={"backgroundcolor": "#EEEEEE"}))
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
def compile_circuit(function: QuantumCircuit):
    # Compilando o circuito do algoritmo de Deustch.

    n = function.num_qubits - 1
    qc = QuantumCircuit(n + 1, n)

    qc.x(n)
    qc.h(range(n + 1))

    qc.barrier()
    qc.compose(function, inplace=True)
    qc.barrier()

    qc.h(range(n))
    qc.measure(range(n), range(n))

return qc
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
display(compile_circuit(deutsch_function(3)).draw(output="mpl", style={"backgroundcolor": "#EEEEEE"}))
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
def deutsch_algorithm(function: QuantumCircuit):
    # Determina se a função é constante ou balanceada.

    qc = compile_circuit(function)

    result = AerSimulator().run(qc, shots=1, memory=True).result()
    measurements = result.get_memory()
    if measurements[0] == "0":
        return "constante"
    return "balanceada"
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
for i in range(1,5):
    print(f"Caso {i}:")
    f = deutsch_function(i)
    display(deutsch_algorithm(f))
```



Obrigado !

Colocar um QR
code aqui com
as
oportunidades
do Quiin

