

Maio de 2025

UniCEUB - Centro Universitário de Brasília

Ciência da Computação

ARQUITETURA DE COMPUTADORES QUÂNTICOS

Organização e Arquitetura de Computadores

Professor: Miguel Archanjo

Alice Paiva de Sá RA: 22501194

Isabella Silva e Sena RA: 22502102

Lucas Vieira Pereira RA:22506615



SUMÁRIO

1. Introdução.....	3
2. Física Quântica.....	4
2.1. Conceitos Fundamentais da Física Quântica.....	5
2.2. Qubits.....	6
2.3. 3 Infográfico Física Quântica.....	7
2.4. Lei de Moore.....	8
3. Computação Quântica.....	9
3.1. 1990/2000.....	10
3.2. Exemplo: Receita de Bolo.....	11
3.3. Receita de Bolo em Superposição.....	12
3.4. Interferência.....	13
3.5. O que é Computador Quântico.....	14
3.6. Para que serve?.....	15
3.7. Von Neumann.....	16
3.8. Como funciona?.....	17
3.9. Estrutura de um computador quântico.....	18
4. O onde usa?.....	19
4.1. Avanço na computação quântica na Microsoft.....	20
4.2. Como funciona?.....	21
4.3. Imagem chip quântico.....	22
5. Conclusão.....	23
Referências.....	24
Links.....	25
Agradecimento.....	26



INTRODUÇÃO

Principais tópicos discutidos nesta apresentação

- Apresentação: Neste trabalho exploramos a arquitetura dos computadores quânticos, buscamos apresentar de forma fácil e clara como esses sistemas são estruturados e o porque representam uma transformação significativa no campo da computação.
- Motivação: Entender os princípios da computação quântica é essencial para acompanhar o futuro da tecnologia e resolver problemas que os computadores tradicionais não conseguem.
- Objetivos:
 - Explicar arquitetura de computador quântico.
 - Comparar o computador clássico com o quântico.
 - Fazer a correlação entre física quântica e computador quântico.
- Delimitação: Como o objetivo principal deste trabalho é abordar a arquitetura de computadores quânticos, não foi destacado em mais detalhes a física avançada.

FÍSICA QUÂNTICA

1900 FÍSICO MAX PLANCK

Problema do Corpo Negro: É um objeto ideal que não existe no mundo real, ele não reflete luz apenas absorve e emite ela. A resolução por ele, existe um corpo negro mas só pode absorver e emitir energia em quantidades discretas, 1 um , 2 un , 3 un ... nunca um valor quebrado. Em outras palavras quer dizer a troca de energia é quantizada (de onde vem o quântica de física quântica).



SPIN DO ELETRÓN

Campo magnético que faz parte dela, alguns pensamentos eram voltados para que esse campo fosse criado pela rotação da partícula, mas segundo os cálculos isso seria impossível, pois teria que girar 4x a velocidade da luz. Um SPIN é a primeira quantidade fundamental quântica.

PREVISÕES

Probabilidade impossível prever com certeza o comportamento de uma partícula, princípio da incerteza, impossível determinar velocidade e posição da partícula ao mesmo tempo com precisão

3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA FÍSICA QUÂNTICA:

- **Emaranhamento:** É o fenômeno em que duas ou mais partículas ficam “ligadas” em que o estado de uma interfere diretamente no estado da outra, na computação quântica, qubits entrelaçados podem trocar informações instantaneamente aumentando o poder de processamento de forma exponencial.

- **Superposição:** Na física quântica, isso se traduz em um qubit podendo representar simultaneamente os estados 0 e 1, diferente do bit clássico, e permite que o computador quântico realize múltiplos cálculos ao mesmo tempo.
- **Interferência quântica:** Esse efeito permite controlar a probabilidade de certos estados quânticos. No computador quântico, a interferência é usada para reforçar as respostas corretas e cancelar as incorretas durante a execução de um algoritmo.

QUBITS

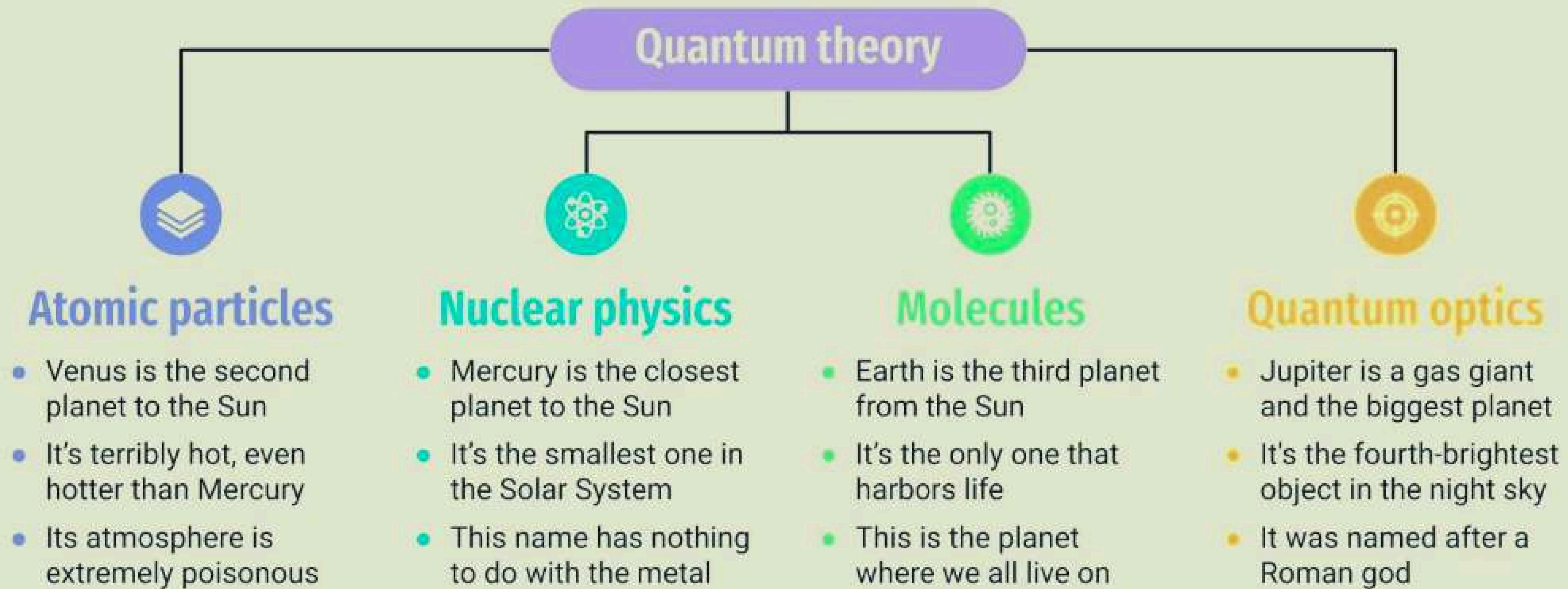
Ao invés de **Bits** usamos **Qubits**, para representar a unidade de informação, pode ser **0 ou 1**. Um dos obstáculos mais significativos na computação quântica é a natureza frágil dos qubits. O **emaranhamento** do sistema qubit com seu ambiente, incluindo a configuração de medida, poderia facilmente perturbar o sistema e causar decoerência. Portanto, os avanços na construção do hardware de computação quântica e nos métodos de correção de erros estão sendo desenvolvidos no momento.

Qubits	Bits Clássicos Equivalentes
1 qubit	2 bits
2 qubits	4 bits
10 qubits	1.024 bits
20 qubits	1.048.576 bits
64 qubits	1.8446744×10^{19} bits
512 qubits	$1.3407808 \times 10^{154}$ bits



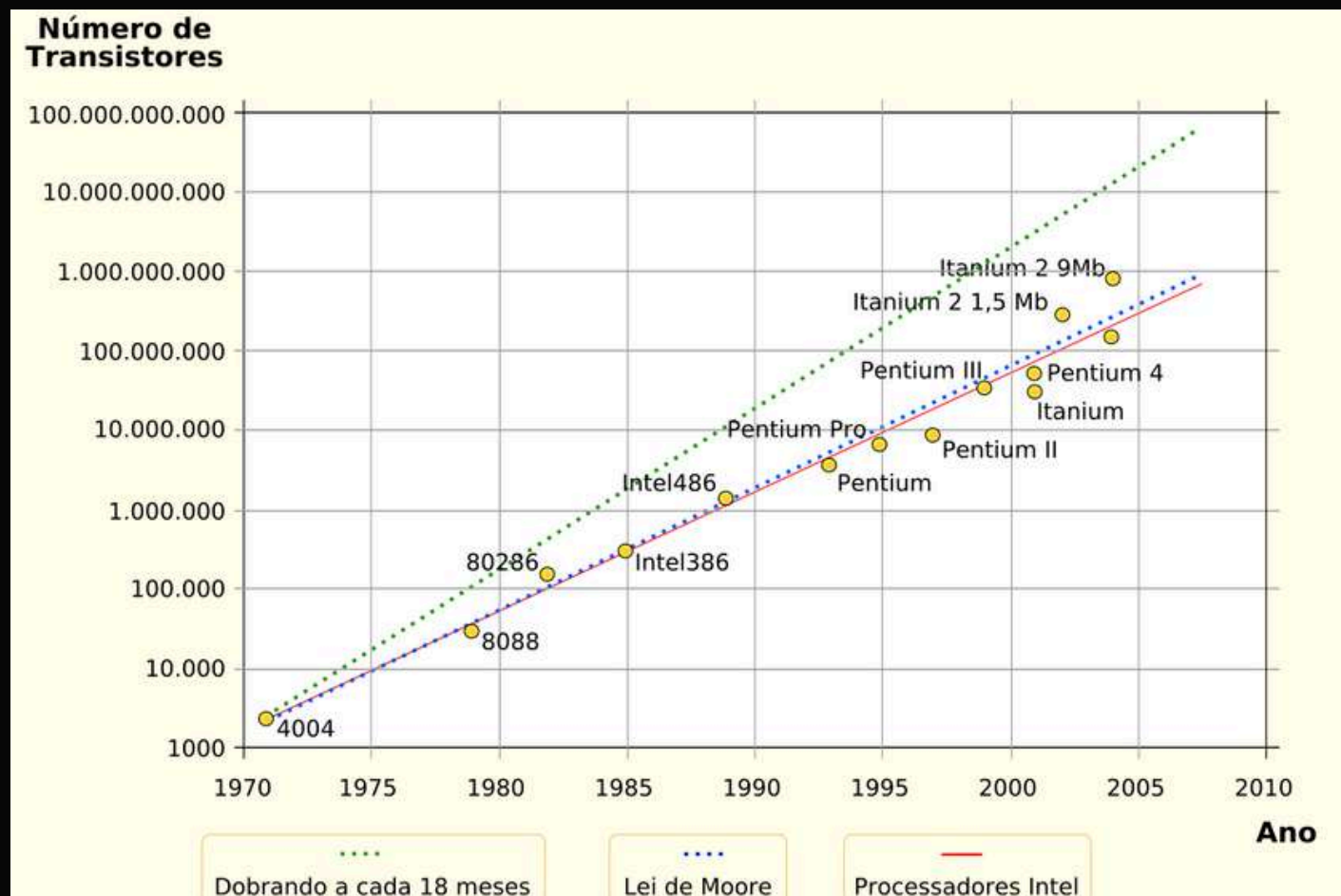
Quantum physics infographics

About quantum theory



LEI DE MOORE

O número de um circuito em um transistor **dobra** a cada **2 anos**. Porém o problema é que a lei não é no sentido científico mas sim uma observação de funcionamento, e não pode durar para sempre, pois não será possível chegar ao fim dela, esse fim está previsto para **2025**.



https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Moore#/media/Ficheiro:Lei_de_moore_2006.png

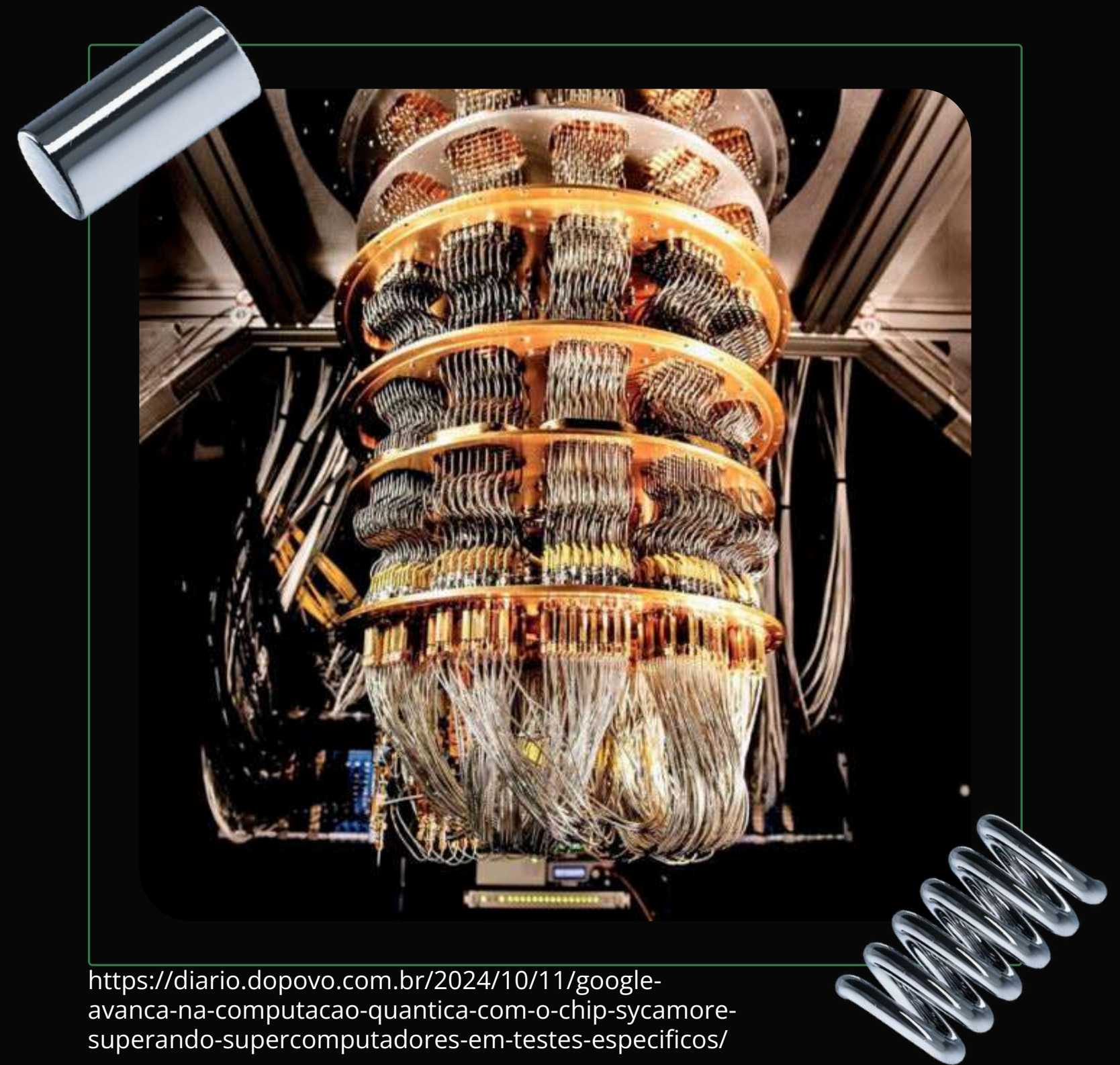
png



COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

Histórico: A computação quântica surgiu da necessidade de superar as limitações dos computadores clássicos. Em 1981, o físico **Richard Feynman** destacou que sistemas quânticos não podem ser simulados eficientemente por máquinas clássicas. Assim ele sugeriu usar computadores quânticos para simular esses sistemas.

Conhecido por ser **o pai da computação quântica**, **David Deutsch**, publicou um artigo que estabeleceu bases teóricas para os computadores quânticos.



<https://diario.dopovo.com.br/2024/10/11/google-avanca-na-computacao-quantica-com-o-chip-sycamore-superando-supercomputadores-em-testes-especificos/>

Em 1990, houveram alguns algoritmos revolucionários :

- Algoritmo de Shor(1994); Pode fatorar números grandes exponencialmente mais rápido que qualquer algoritmo clássico(ameaça direta à criptografia atual)
- Algoritmo de Groover(1996): acelera buscas em banco de dados desestruturados

Em 2000 tecnologias tentaram implementar os qubits físicos:

- Íons aprisionados, átomos neutros, pontos quânticos, fótons e especialmente circuitos supercondutores (usados por Google e IBM)



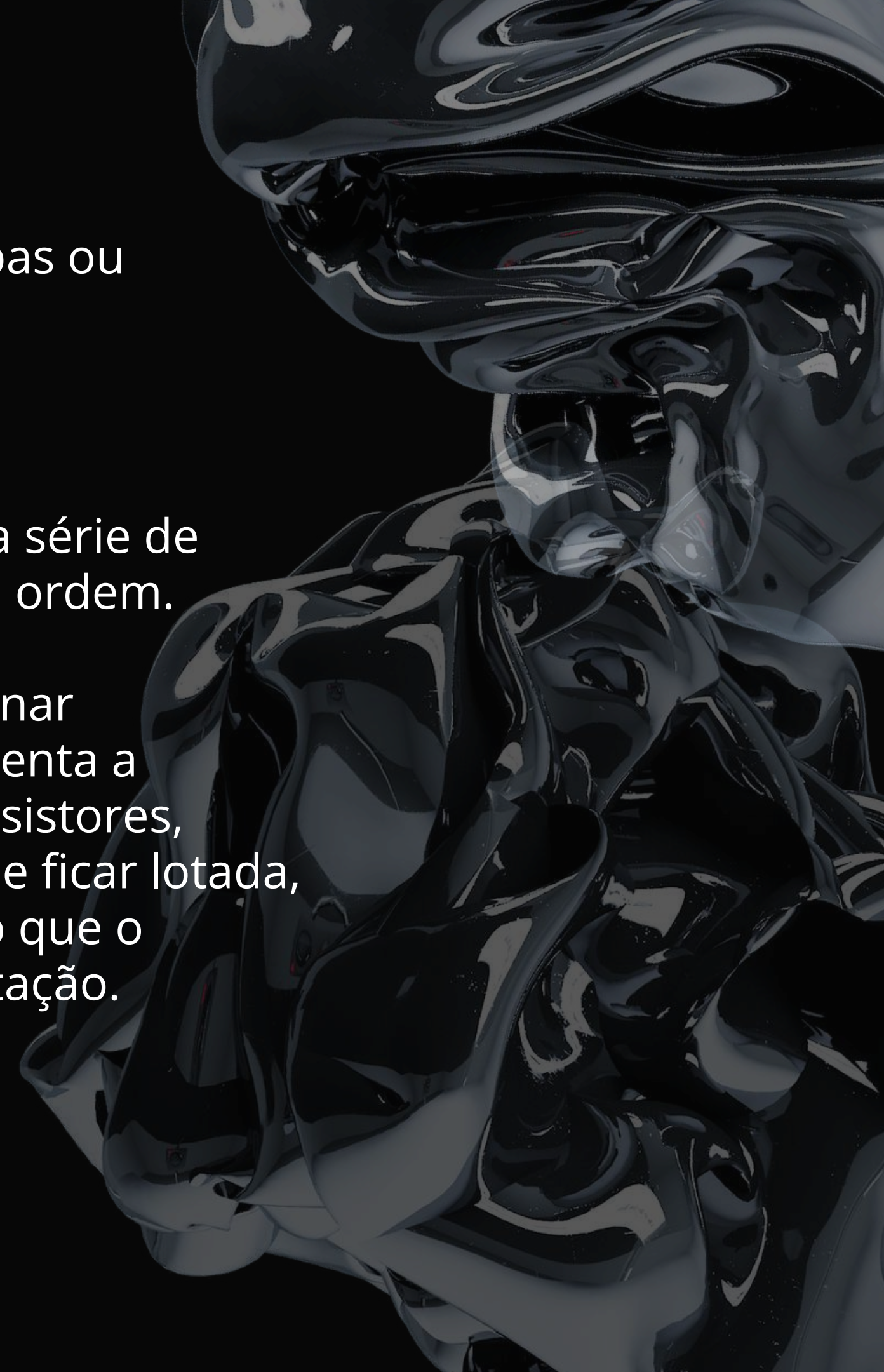
EXEMPLO: RECEITA DE BOLO

A receita de bolo tem que ser seguida passo a passo, sem pular etapas ou misturar ingredientes fora de ordem ,para que o bolo não solve.

LIÇÃO: NÃO PULAR ETAPAS.

Computadores são dessa forma, a **receita é um algoritmo** que é uma série de comandos em forma de lista do que precisa ser feito e são feitos em ordem.

Limite computacional: Suponha que em uma cozinha pode-se adicionar cozinheiros para fazer passos separados de cada receita, o que aumenta a velocidade de produção em um computador os cozinheiros são transistores, porém na cozinha existe um certo número de pessoas ou então pode ficar lotada, a mesma coisa vale para processadores, existe um tamanho mínimo que o transistor pode ter, assim chega no chamado limite físico da computação.



RECEITA DE BOLO EM SUPERPOSIÇÃO:



Mas afinal, o que é **superposição**?

Superposição quântica é a capacidade de um sistema quântico agir como se estivesse em múltiplos estados ao mesmo tempo até ser medido.

Na receita de bolo agora você pode testar **novas receitas** por exemplo se fica melhor com **manteiga ou margarina**, porém não precisa fazer dois bolos, a **superposição** se mantém após cada passo da receita, o bolo na verdade é a **superposição de 2**, um com manteiga e outro com margarina, é como se tivesse feito os dois no mesmo tempo que faria um.

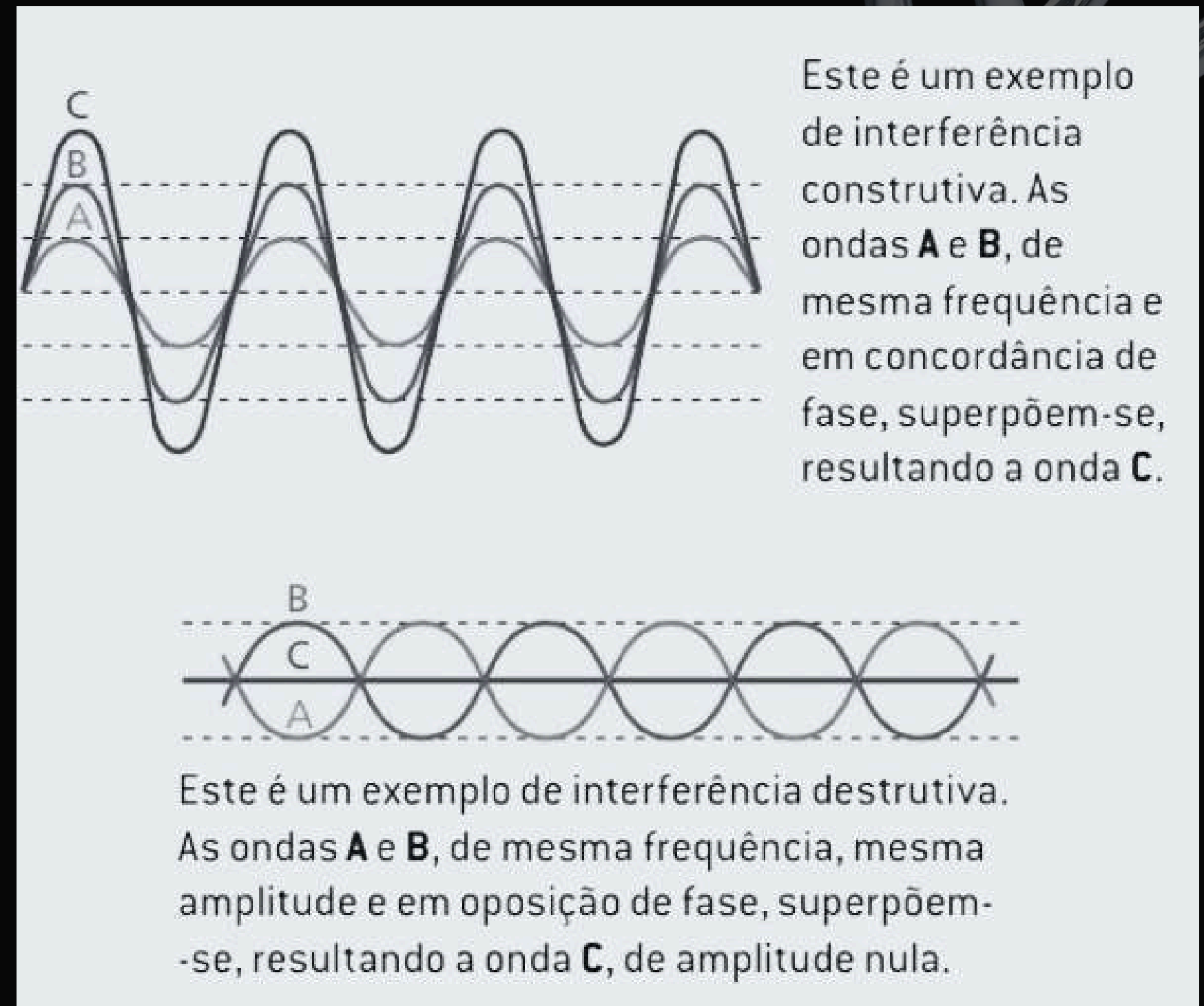
Mas como é impossível **medir os qubits** em superposição, sempre que tentará medir esse valor, o qubit é distribuído e volta a valer 1 ou 0, ou seja mesmo que fizesse o bolo em superposição no final so poderia comer um dos bolos, quando colocasse o garfo automaticamente viraria ou bolo de manteiga ou margarina.

INTERFERÊNCIA

O fenômeno chamado interferência, que são os encontros de ondas, **construtiva**= aumenta intensidade, **destrutiva**= diminui intensidade.

No algoritmo de Grover, por exemplo, a interferência é usada para aumentar a chance de encontrar a resposta certa com muito menos tentativas do que um computador clássico.

Ou seja, interferência quântica não é um erro, mas sim uma ferramenta essencial para fazer o computador quântico funcionar corretamente e de forma eficiente.

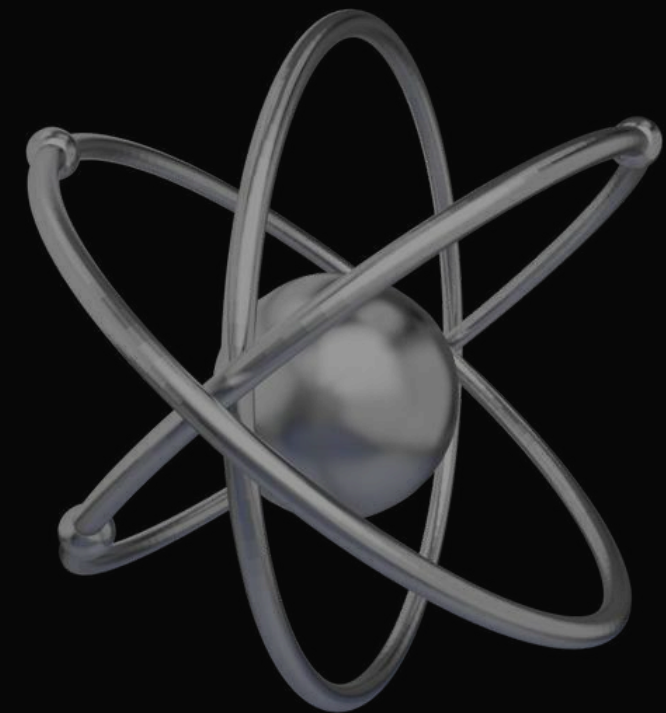


O QUE É COMPUTADOR QUÂNTICO

A arquitetura de computadores quânticos é o projeto e a organização dos componentes **físicos e lógicos** que formam um computador quântico, o qual é baseado nos princípios da **mecânica quântica**.

A arquitetura quântica é a forma como os **qubits, portas lógicas quânticas, circuitos e sistemas de controle** são organizados para realizar cálculos. Assim como a arquitetura de um computador comum define como a **memória**, o processador e o dispositivos de **entrada/ saída** trabalham juntos, a arquitetura quântica define como os qubits interagem e são manipulados para executar **algoritmos**.

Ele utiliza **qubits**, pode existir em **superposição de estados** (0 e 1 simultaneamente), e apresenta **emaranhamento quânticos**.



PARA QUE SERVE?

Serve para desenvolver máquinas capazes de resolver problemas complexos muito mais rapidamente, do que os computadores tradicionais.

Isso inclui tarefas como:

- Quebra de criptografia avançada
- Simulação de moléculas e reações químicas
- Otimização de sistemas logísticos ou financeiros
- Processamento de grandes volumes de dados

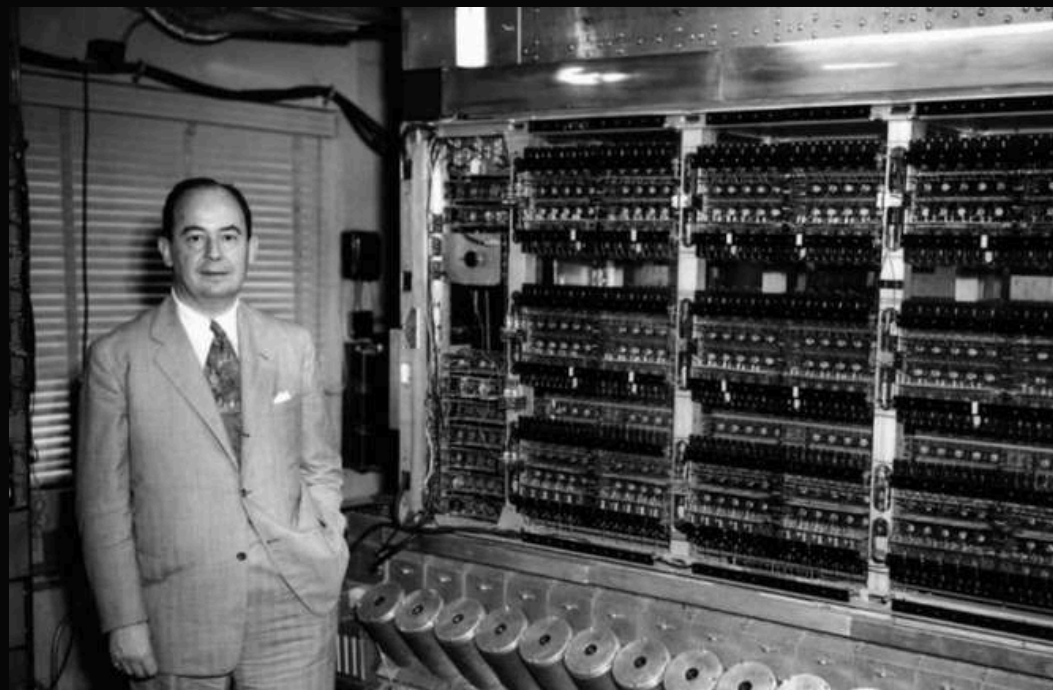
Utilizando os princípios da **mecânica quântica**, como **superposição** e **emaranhamento**, ele pode processar múltiplas possibilidades ao mesmo tempo, tornando-se extremamente eficiente para tarefas complexas. Sua aplicação é promissora em áreas como **simulação de moléculas químicas**, **descoberta de novos medicamentos**, **otimização de sistemas logísticos**, **inteligência artificial**, **finanças** e até **quebra ou criação de sistemas criptográficos**.

VON NEUMANN

O matemático Von Neumann em 1945 criou o modelo de arquitetura que serve de base para quase todos os computadores atuais.

A ideia foi organizar o funcionamento do computador em partes bem definidas, com um conceito revolucionário na época: armazenar os dados e as instruções (os comandos que dizem ao computador o que fazer) na mesma memória.

Antes disso, a proposta dos computadores era muito limitada, para cada tarefa, era necessário conectar fios manualmente ou usar cartões perfurados, com a arquitetura de Von Neumann os computadores passaram a ser capazes de armazenar programas na memória, e passaram a funcionar de forma automática



COMO FUNCIONA?

A arquitetura de computadores quânticos, se organiza em camadas, onde cada um tem uma função específica para o funcionamento da máquina.

1- Camada física (Hardware Quântico)

É a base do sistema, onde fica os qubits físicos que podem ser feitos com: supercondutores, íons aprisionados, fótons, átomos neutros.

2- Camada Lógica (Operação Quântica)

Inclui: portas lógicas quânticas, circuitos quânticos e correção de erros quânticos

3- Camada de controle (Clássica)

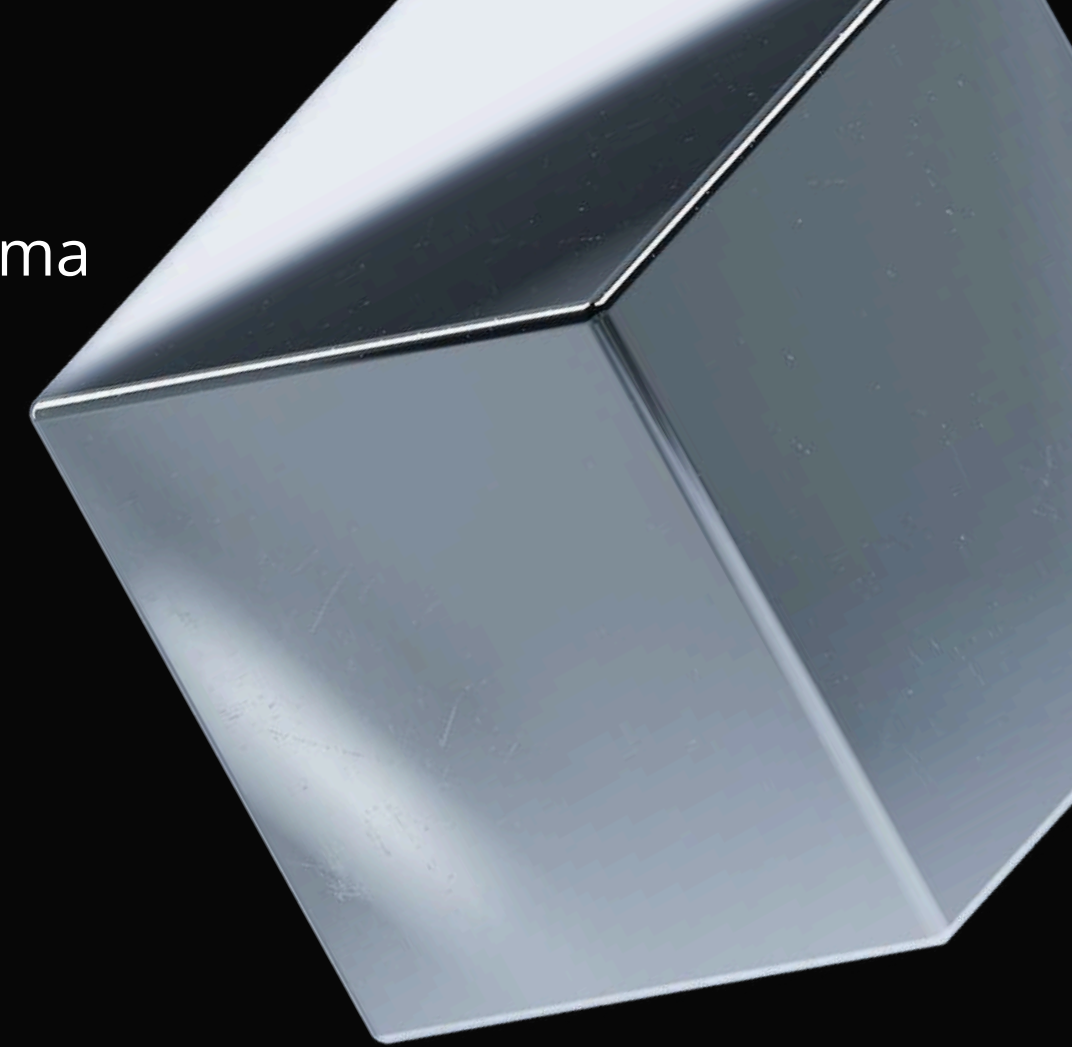
É a parte clássica que envia sinais (pulsos de micro-ondas, lasers ou campos magnéticos), para manipular os qubits corretamente. É composta por: geradores de pulsos, controladores de tempo, conversores digitais- analógicos.

4- Camada de comunicação

Faz ponte entre: usuário ou programador, o hardware quântico

5- Camada de software e algoritmos

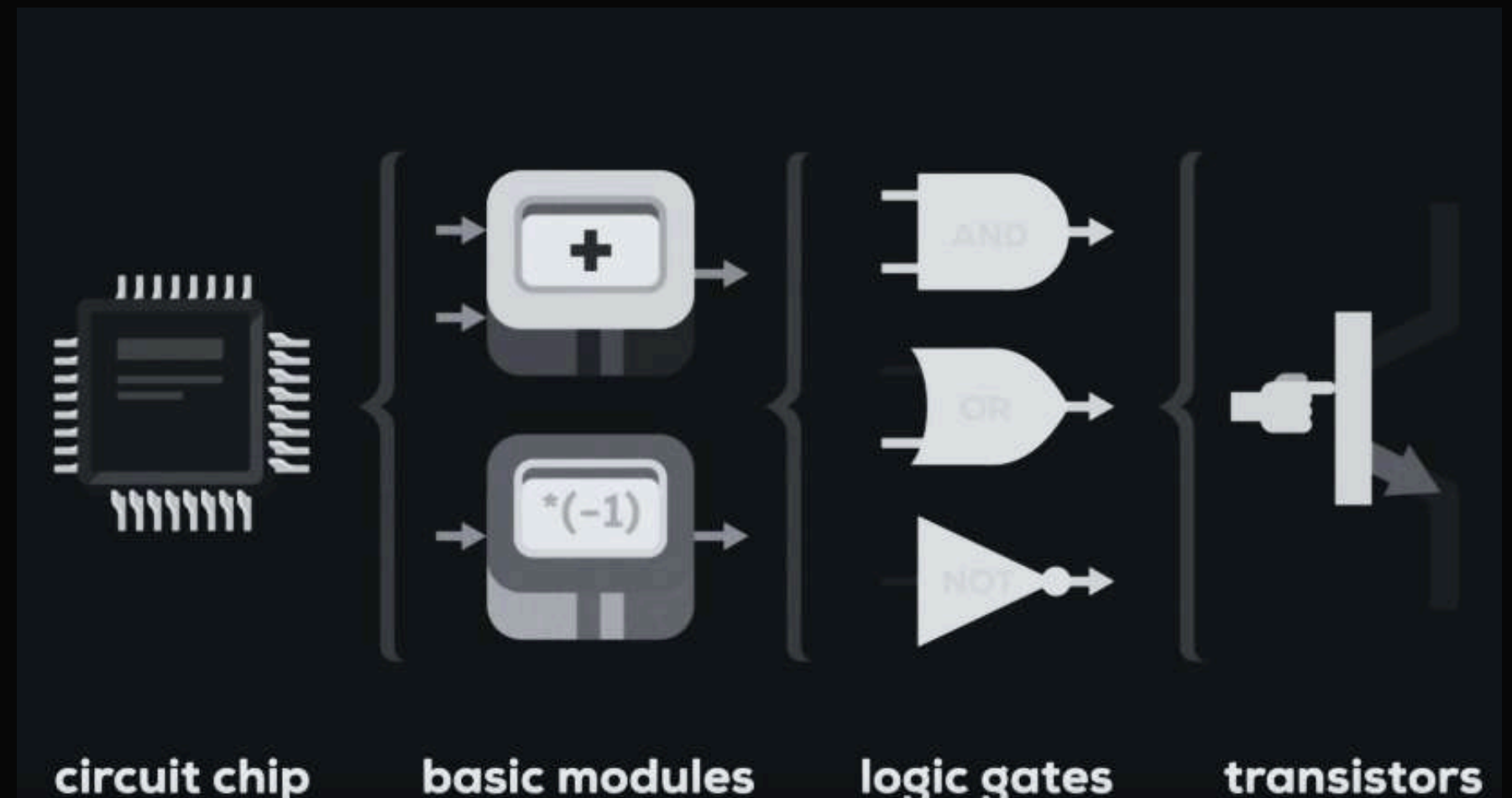
Onde os algoritmos quânticos (como o de Shor e Grover), são escritos e organizados, inclui linguagens de programação quântica, simulações e compiladores quânticos



ESTRUTURA PEÇA A PEÇA DE UM COMPUTADOR QUÂNTICO

Componentes:

- Qubit
- Portas Lógicas Quânticas
- Circuito Quântico
- Sistema de Controle Clássico
- Sistema de Leitura (Medida)
- Sistema Criogênico
- Correção de Erros Quânticos
- Fonte de Controle de Pulsos
- Interface com o Computador Clássico
- Hardware Físico (Ex: chip quântico)



ONDE SE USA?

É atualmente, os computadores quânticos estão em fase experimental e são usados principalmente em pesquisas científicas e tecnológicas. Alguns exemplos de uso incluem:



Laboratórios de física e computação como:

- IBM, GOOGLE e UNIVERSIDADES

Empresas de tecnologia e segurança

- PARA TESTAR NOVOS ALGORITMOS DE CRIPTOGRAFIA

Pesquisa farmacêutica

- SIMULAÇÃO DE MOLÉCULAS E NOVOS MEDICAMENTOS

AVANÇO DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA NA MICROSOFT

A **Microsoft** anunciou em fevereiro de **2025** um avanço significativo na computação quântica com o lançamento do **Majorana 1**, o primeiro processador quântico baseado em qubits topológicos. Esse chip utiliza um novo material chamado topocondutor, desenvolvido para criar e controlar partículas de Majorana, que são fundamentais para a estabilidade dos qubits.

O que é o Majorana 1?

O **Majorana 1** é um chip quântico que incorpora qubits topológicos, projetados para serem mais resistentes a erros do que os qubits tradicionais. Ele é construído a partir de um material híbrido de arsenieto de índio e alumínio, operando a temperaturas extremamente baixas (cerca de 50 milikelvin). Atualmente, o chip possui 8 qubits, mas a arquitetura é escalável para até 1 milhão de qubits em um único chip de 10 cm x 10 cm.

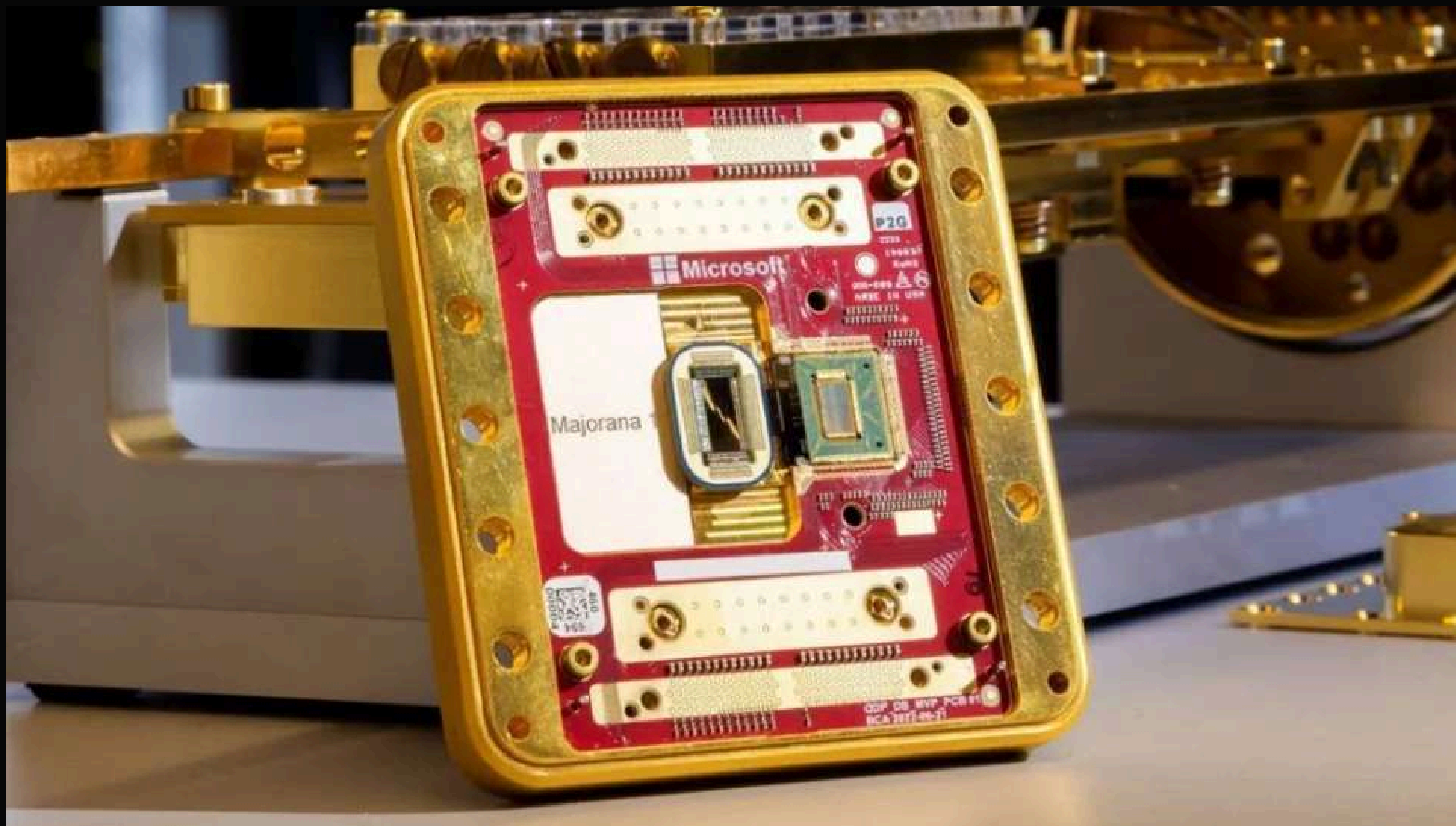
Como funciona?

O funcionamento do **Majorana 1** baseia-se na criação de modos zero de Majorana (MZMs) em nanofios supercondutores. Esses modos são usados para armazenar e manipular informações quânticas de forma mais estável, reduzindo a suscetibilidade a erros causados por interferências externas.

Potencial e aplicações:

A Microsoft planeja integrar o Majorana 1 ao Azure Quantum em 2025, oferecendo acesso inicial a pesquisadores, com comercialização prevista para 2030. As aplicações potenciais incluem:

- **Criptografia:** Desenvolvimento de sistemas de criptografia resistentes a ataques quânticos.
- **Simulação de materiais:** Modelagem de moléculas para descoberta de novos medicamentos e materiais.
- **Otimização:** Resolução de problemas complexos em logística e finanças.
- **Inteligência Artificial:** Aceleração do treinamento de modelos de IA.



<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/microsoft-apresenta-chip-quantico-que-pode-mudar-mundo-da-computacao-apos-17-anos-de-pesquisa/>

CONCLUSÃO:

A computação quântica representa uma mudança radical na forma como processamos informações. Com base em princípios como superposição, emaranhamento e interferência, os computadores quânticos ultrapassam as limitações da computação clássica, oferecendo soluções para problemas complexos em áreas como química, criptografia, inteligência artificial e otimização.

A arquitetura quântica, composta por camadas físicas, lógicas e de controle, é o alicerce que torna possível manipular qubits com precisão. Iniciativas como a plataforma Azure Quantum da Microsoft democratizam o acesso a essa tecnologia, permitindo que pesquisadores e desenvolvedores explorem seu potencial mesmo sem acesso a um computador quântico físico.

Embora ainda estejamos nos estágios iniciais dessa revolução, os avanços já demonstram que a computação quântica não é mais apenas teórica — é um campo real e promissor, pronto para transformar o futuro da tecnologia e da ciência.



REFERÊNCIAS:

Slide 1–2

Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press.

Slide 3–4

Machado, F. (2021). Computação Quântica para Leigos. Alta Books.

Preskill, J. (2018). Quantum Computing in the NISQ era and beyond. [arXiv:1801.00862](https://arxiv.org/abs/1801.00862)

Slide 5–6:

Montanaro, A. (2016). Quantum algorithms: An overview. npj Quantum Information, 2, 15023.

Arute, F. et al. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. Nature, 574(7779), 505–510.

Slide 7

Microsoft Azure Quantum. Documentação oficial. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/>

GitHub Q# Samples: <https://github.com/microsoft/Quantum>

Slide 8

Freedman, M. H., et al. (2002). Topological quantum computation. Bulletin of the AMS, 40(1), 31–38.

Microsoft Quantum Research. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/quantum>

Slide 9

Cao, Y., et al. (2019). Quantum Chemistry in the Age of Quantum Computing. Chemical Reviews, 119(19), 10856–10915.

Kandala, A., et al. (2017). Hardware-efficient variational quantum eigensolver for small molecules and quantum magnets. Nature, 549, 242–246.

Computação Quântica: Surgimento, Conceitos Básicos e Aplicações <https://www.targetso.com/2023/10/10/computacao-quantica/>

Ciência Todo Dia: Computadores Quânticos Explicados <https://youtu.be/92eSz2X0AlU?feature=shared>

Ciência Todo Dia: Física Quântica EXPLICADA <https://youtu.be/eA1E2HGdbKg?feature=shared>

Slide 10–11:

Conteúdo desenvolvido com base em materiais didáticos de física quântica e computação quântica da IBM Q Experience e Microsoft Learn.

<https://news.microsoft.com/source/latam/ia-pt-br/chip-majorana-1-da-microsoft-abre-um-novo-caminho-para-a-computacao-quantica/?lang=pt-br>

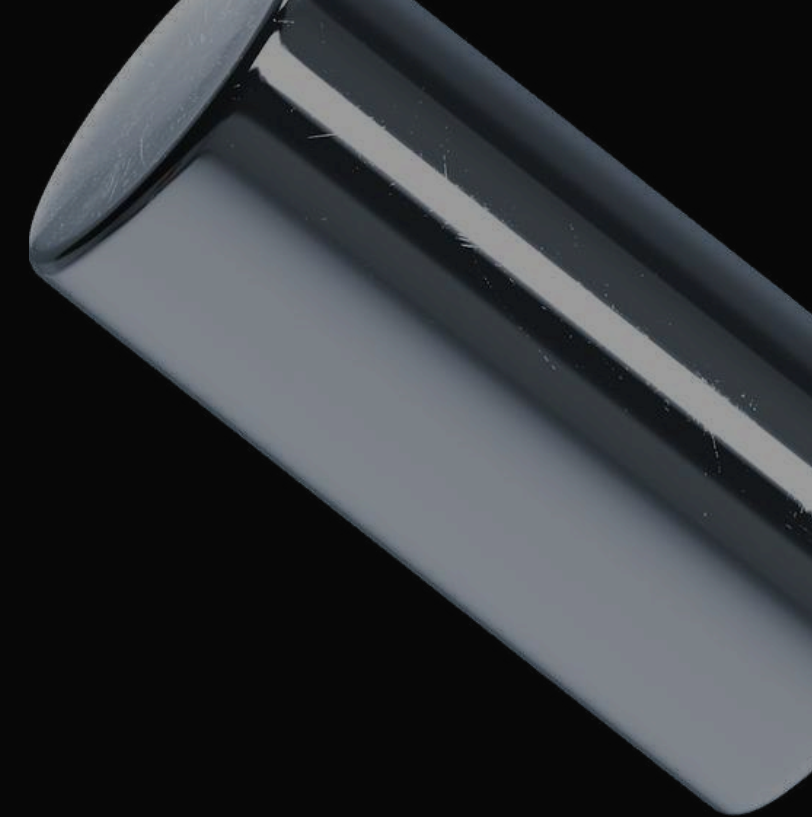
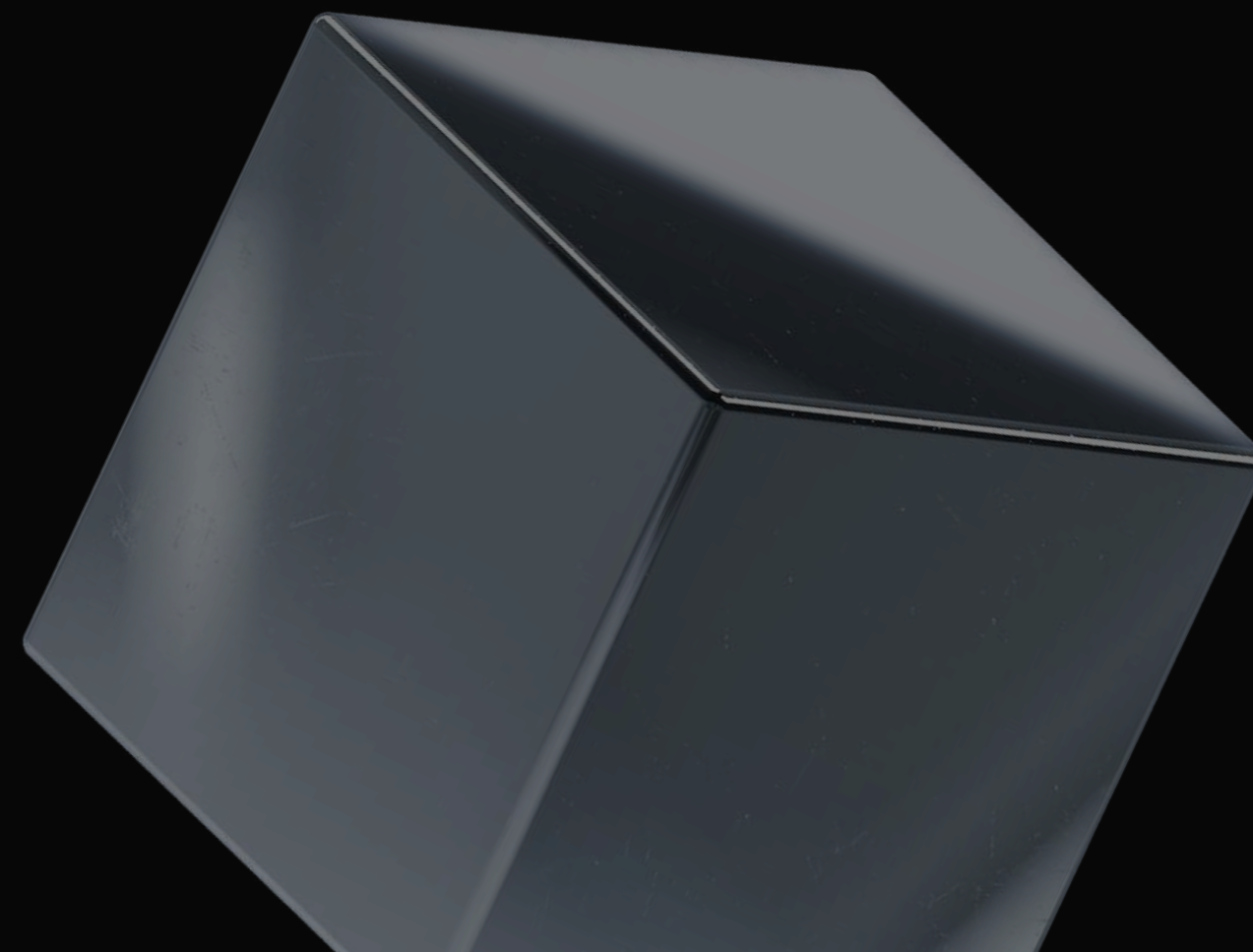
KAHOOT

<https://create.kahoot.it/details/f017db51-85fb-4fad-9434-71e9fc958175>

VÍDEO

https://youtu.be/CDo1dhf6JjM?si=jFOJeL_8KeFWE5xF

Minutagem: 0:33 até 4:18





Você tem alguma pergunta?

OBRIGADA PELA ATENÇÃO!