



Research Insights

—

# Em breve para os seus negócios: computação quântica

Cinco estratégias para se  
preparar para a tecnologia  
de mudança de paradigma

**IBM Institute for  
Business Value**

**IBM**



## Pontos para discussão

### A revolução quântica

Como a mecânica quântica descreve o modo pelo qual a natureza funciona em um nível fundamental, a computação quântica é adequada para simular processos e sistemas semelhantes.

### Envolva-se com a computação quântica

As tendências tecnológicas e competitivas estão entrando na era quântica mais cedo do que se espera. Devido à curva de aprendizado acentuada da quântica, a abordagem de “seguidor rápido” pode conseguir apenas produzir retardatários que gastam excessivamente tentando obter êxito.

### Cinco etapas concretas

Designe líderes profissionais como “campeões quânticos” que possam avaliar o potencial da computação quântica. Identifique áreas em que a quântica poderia impulsionar sua organização à frente da concorrência.

---

A computação quântica está chegando a uma fase de comercialização que poderá mudar nosso mundo. Os primeiros que adotaram a capacidade única da quântica para solucionar determinados tipos de problemas podem obter avanços que possibilitem novos modelos de negócios. Organizações visionárias já estão se alinhando ao ecossistema da computação quântica emergente para se tornarem “preparadas para a quântica”. Essas empresas pioneiras estão explorando casos de uso e algoritmos associados que abordam problemas de negócios complexos. Este relatório discute a mudança de paradigma que a computação quântica representa para os negócios, explica por que sua empresa pode precisar agir agora e fornece cinco recomendações para alavancar sua organização através da vantagem de negócios proporcionada pela quântica.

## O que é computação quântica?

A computação quântica tira proveito das leis da mecânica quântica encontradas na natureza e representa uma mudança fundamental no processamento clássico de informações. Duas propriedades do comportamento quântico, superposição e entrelaçamento, podem permitir que computadores quânticos resolvam problemas difíceis de lidar para as máquinas convencionais, ou clássicas, atuais:

- *Superposição.* Um computador clássico usa bits binários que podem representar apenas um “1” ou um “0”. Em vez disso, os computadores quânticos usam qubits que podem representar um “1”, um “0”, ou qualquer combinação (ou “superposição”) dos possíveis estados dos qubits. Portanto, um computador quântico com  $n$  qubits pode ter todas as  $2^n$  possibilidades em superposição umas com as outras. Isso fornece aos computadores quânticos um conjunto exponencial de estados que eles podem explorar para resolver determinados tipos de problemas melhor do que os computadores clássicos.
- *Entrelaçamento.* No mundo quântico, dois qubits localizados mesmo a anos-luz de distância ainda podem agir de maneiras que estão fortemente correlacionadas. A computação quântica tira vantagem desse entrelaçamento para codificar problemas que exploram a interdependência entre qubits.



### Para dobrar o poder teórico de um computador clássico,

é necessário dobrar seu número de transistores. Para dobrar o poder teórico de um computador quântico, é necessário incluir apenas um qubit adicional para algumas aplicações.



### Um futuro processador quântico poderia simular uma molécula de cafeína,

isso exigiria um computador convencional gigantesco maior do que 10% o tamanho da terra.



### Num futuro próximo, os computadores quânticos poderão ajudar a projetar novos materiais

que criarão computadores quânticos ainda mais poderosos no futuro.

As propriedades quânticas da superposição e do entrelaçamento ajudam a permitir que computadores quânticos explorem rapidamente um enorme conjunto de possibilidades para identificar uma resposta ideal que poderia gerar um valor de negócio. À medida que os futuros computadores quânticos puderem calcular determinadas respostas exponencialmente mais rápido do que as máquinas clássicas atuais (veja a Figura 1), eles terão a capacidade de lidar com problemas de negócios exponencialmente mais complexos. Apesar das limitações dos computadores clássicos, não se espera que os computadores quânticos os substituam em um futuro próximo. Em vez disso, estima-se que surgirão arquiteturas quânticas-clássicas híbridas que “terceirizarão” as partes difíceis dos problemas para um computador quântico.

A computação quântica surge para transformar potencialmente determinadas indústrias. Por exemplo, os métodos atuais de química computacional dependem muito de aproximação, porque as equações exatas não podem ser resolvidas pelos computadores clássicos. Porém, espera-se que os algoritmos quânticos entreguem simulações precisas de moléculas durante escalas de tempo mais longas, que atualmente são impossíveis de calcular com precisão. Isso poderia permitir descobertas de medicamentos para salvar vidas e reduzir significativamente o número de anos necessários para desenvolver fármacos.

**Figura 1**

O potencial da computação quântica para atingir maior velocidade sobre os computadores clássicos<sup>1</sup>

Tipo de dimensionamento	Prazo para resolver o problema				
	10 segundos	2 minutos	330 anos	3300 anos	Idade do universo
Algoritmo clássico com tempo de execução exponencial					
Algoritmo quântico com tempo de execução polinomial	1 minuto	2 minutos	10 minutos	11 minutos	aproximadamente 24 minutos

## Quântica: a menor quantidade ou unidade de algo, especialmente energia.<sup>4</sup>

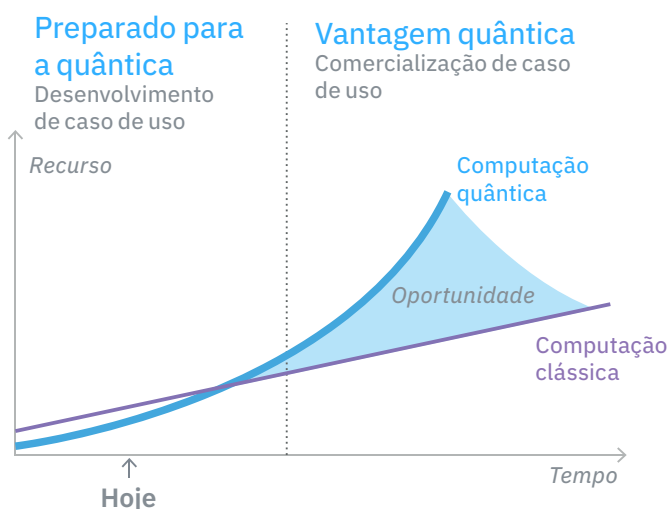
Além disso, a capacidade prevista da computação quântica de resolver problemas de otimização de logística excessivamente complexos dos dias atuais pode gerar consideráveis economias de custo e redução da pegada de carbono. Por exemplo, considere melhorar as rotas globais da indústria de remessa de três trilhões de dólares. Se a computação quântica pudesse melhorar a utilização de contêineres e os volumes de remessa, mesmo em uma pequena fração, isso poderia economizar centenas de milhões de dólares para as transportadoras. Para lucrar com as vantagens da computação quântica antes da concorrência, empresas pioneiras já estão desenvolvendo conhecimento para explorar quais casos de uso podem beneficiar suas próprias indústrias.

### O despontar da vantagem quântica

O momento em que os computadores quânticos poderão resolver alguns problemas de negócios que os computadores clássicos não podem, geralmente chamado de vantagem quântica, parece próximo. Por exemplo, circuitos quânticos de “profundidade constante” já demonstraram ser mais poderosos do que suas contrapartes clássicas.<sup>2</sup> A Figura 2 ilustra como poderia ser uma vantagem quântica para um caso de uso de negócio específico. O momento exato em que a vantagem quântica ocorrerá para um caso de uso específico é incerto, o que causa amplas variações nas previsões do mercado para os próximos cinco anos, de aproximadamente USD 500 milhões até USD 29 bilhões.<sup>3</sup>

Figura 2

Comercialização de um caso de uso quântico



O desenvolvimento do ecossistema da computação quântica está acelerando, antecipando-se às oportunidades que a nova tecnologia criará. Startups e parcerias entre pesquisadores e fornecedores de tecnologia estão surgindo para converter a pesquisa quântica em recursos adaptados para o mundo dos negócios. Empresas de tecnologia que desenvolvem computadores quânticos já estão realizando parcerias com empresas para identificar potenciais casos de uso, desenvolver algoritmos quânticos e testar soluções em computadores quânticos reais. Esse rápido crescimento no engajamento de empresas com a tecnologia quântica irá acelerar a chegada dos primeiros aplicativos comerciais.

### Escolhendo o computador quântico ideal para os seus negócios

Nem todos os computadores quânticos são criados igualmente, nem resolvem os mesmos problemas. Do mais limitado ao mais versátil, os computadores quânticos geralmente são classificados em três categorias: o recozimento quântico, a computação quântica de escala ruidosa intermediária (NISQ)<sup>5</sup> e a computação quântica universal tolerante a falhas.

O consenso da comunidade científica é que o recozimento quântico não oferecerá uma aceleração significativa em relação à computação clássica.<sup>6</sup> Além disso, recozedores quânticos não estão no caminho do desenvolvimento que leva a máquinas quânticas universais tolerantes a falhas. Como resultado, os recozedores quânticos não podem ser considerados computadores quânticos verdadeiros.

A curto prazo, os computadores NISQ têm o melhor potencial para fornecer vantagens de negócio e vários algoritmos novos estão sendo adaptados para eles. Além disso, à medida que a capacidade dos computadores NISQ aumenta, eles progredem em direção ao objetivo final da computação quântica, um computador quântico universal tolerante a falhas que possa manipular importantes classes de negócios e problemas científicos exponencialmente mais rápido que uma máquina clássica.

# “Quando você muda a maneira que olha para as coisas, as coisas que você olha mudam.”

Max Planck, Pai da física quântica<sup>7</sup>

## Choque futuro – Por que sua organização pode precisar agir agora

Por que abordar a computação quântica agora? As forças tecnológicas e competitivas estão entrando na era quântica mais cedo do que se espera. As organizações que estão atentas hoje poderão tomar a liderança no setor daquelas que não estão. A seguir há três motivos pelos quais as empresas estão considerando se preparar para a quântica agora:

- Os computadores quânticos têm o potencial de transformar cadeias de valor da indústria, particularmente nas áreas de química, biologia, assistência médica, ciência dos materiais, finanças e inteligência artificial (IA).
- Devido à curva de aprendizado acentuada na computação quântica, a abordagem de “seguidor rápido” só consegue produzir retardatários que gastam excessivamente tentando obter êxito.
- A construção de um “Centro Quântico de Competência” interno levará tempo.

### Os computadores quânticos têm o potencial de transformar cadeias de valor da indústria

Espera-se que os computadores quânticos transformem as indústrias, porque eles têm o potencial de abordar problemas exponencialmente complexos que os computadores clássicos não conseguem. Os futuros computadores quânticos poderão ajudar a obter avanços em produtos em áreas como química, biologia, assistência médica, finanças, IA e ciência dos materiais, permitindo ganhos rápidos de participação de mercado e maior lucratividade para as empresas visionárias que os adotarem. Dessa maneira, os recursos de resolução de problemas da computação quântica poderão redefinir drasticamente a vantagem competitiva, transformando modelos operacionais de negócios e cadeias de valor que revolucionarão indústrias inteiras.

Por exemplo, a otimização de sistemas de logística geralmente é baseada em um modelo de rede “hub e spoke”. O problema de projetar adequadamente rotas individuais ponto a ponto que satisfaçam a vários requisitos em uma rede logística de grande escala é muito complexo e rapidamente pode se tornar fora de alcance para os supercomputadores clássicos. Se alguém fosse explorar todas as possibilidades em um problema de otimização desse tipo, poderia levar bilhões de anos, mesmo com apenas algumas centenas de

terminais na rede. A computação quântica pode conseguir explorar o espaço de possibilidades muito mais rápido. Por exemplo, no contexto da otimização do planejamento de uma companhia aérea, a computação quântica pode criar horários de voo diários sob demanda, customizados especificamente para as centenas de passageiros que voam para centenas de destinos em um dia específico, reduzindo o tempo de viagem do cliente, o congestionamento de tráfego aéreo e os custos do combustível da companhia aérea. Se uma empresa desenvolvesse uma solução quântica para a otimização do projeto de rede logística, ela poderia rapidamente se tornar um líder de mercado em todas as indústrias nas quais a logística é crítica para o sucesso.

### Uma abordagem de seguidor rápido só consegue produzir retardatários que gastaram um tempo excessivo

Ao contrário do avanço tecnológico mais linear ou incremental, uma abordagem de seguidor rápido está menos propensa a ser efetiva na adoção da computação quântica. Isso se deve a:

- Curva de aprendizado acentuada da computação quântica
- Custos excessivos associados a “alcançar os resultados”.

Considere um caso de uso que um computador quântico poderia resolver exponencialmente mais rápido do que uma máquina clássica, projetando um material construído especificamente para as indústrias de eletrônicos ou de transporte, que é significativamente mais leve e mais forte do que as substâncias atuais (veja a Figura 2). O desenvolvimento acelerado de um material tão revolucionário colocaria um fabricante rapidamente em uma posição de vantagem em relação à sua concorrência. Subindo a curva de aprendizado, esse líder de mercado recém “capacitado para a quântica” poderia ganhar rapidamente maior vantagem sobre a concorrência, ajustando precisamente seu material inovador, bem como expandindo para novos materiais customizados para outras aplicações.

Embora hipotético, este exemplo ilustra como uma curva de aprendizado acentuada poderia tornar extremamente difícil até mesmo para os chamados seguidores rápidos alcançar rapidamente as empresas pioneiras, resultando, potencialmente, em cenários de “o vencedor leva tudo” em determinadas indústrias. Mesmo que alcançar os objetivos fosse possível para um caso de uso específico, isso provavelmente estaria associado a custos exorbitantes relacionados, por exemplo, à contratação de conhecimento interno, à aquisição de acesso à melhor infraestrutura, ao financiamento de parcerias vantajosas e/ou à aquisição de uma empresa com os recursos necessários.

## A construção de um Centro Quântico de Competência interno levará tempo

Embora a maioria das empresas já tenha ouvido sobre computação quântica, muitas não têm o talento ou o conhecimento necessário para aproveitar sua iminente transformação de negócios, e adquiri-lo não será fácil. A oferta de talentos na computação quântica é limitada, com concorrência acirrada para obter os recursos qualificados.

Quando as pessoas certas forem atingidas, provavelmente levará anos para se desenvolver um entendimento profundo do potencial impacto da computação quântica em um determinado negócio. Mudanças tecnológicas recentes, como a migração de quase uma década de duração para unidades de processamento gráfico (GPUs) para acelerar cargas de trabalho de big data, ressaltam o tempo que leva para obter competência ao adotar uma nova tecnologia.

Dado o potencial da quântica para a transformação radical no setor, as capacidades exponenciais de resolução de problemas e a dificuldade em obter recursos qualificados para a quântica, as empresas líderes devem considerar agir agora.

## Aproveitando a vantagem quântica para os seus negócios

O que a comercialização da computação quântica poderia significar para os seus negócios? A curto e médio prazo, a computação quântica poderia conferir benefícios para os negócios em três áreas: simulação quântica, otimização quântica e aprendizado de máquina assistido pela quântica (veja a Figura 3).

### Simulação quântica

Como a mecânica quântica descreve o modo pelo qual a natureza funciona em um nível fundamental, a computação quântica é adequada para modelar processos e sistemas que ocorrem na natureza (veja a barra lateral “IBM” na página 6). Esse recurso potente poderia abrir a porta para os fabricantes de carros elétricos desenvolverem baterias de longa duração. Startups de biotecnologia poderiam desenvolver rapidamente medicamentos customizados para um paciente individual. Os custos da transmissão de energia elétrica poderiam ser reduzidos. Os fertilizantes poderiam ser fabricados de forma mais eficiente, com implicações interessantes para o cultivo de alimentos no mundo.

Figura 3

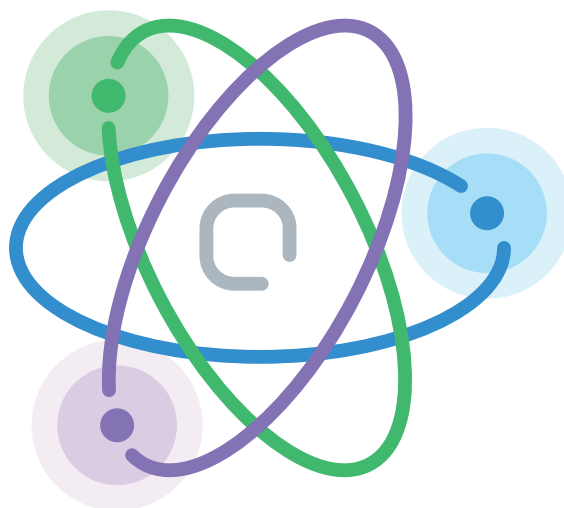
Os usos antecipados da computação quântica NISQ

### Aprendizado de máquina

Amostragem  
Interações adaptáveis do fornecedor/cliente  
Suporte à decisão  
Treinamento

### Simulação

Química  
Farmacêutica  
Materiais  
Baterias elétricas



### Otimização

Turismo e transporte  
Logística/cadeia de suprimentos  
Infraestrutura de rede  
Controle de tráfego aéreo  
Planejamento de serviços  
Serviços financeiros

## Pesquisadores da IBM simulam a maior molécula já vista em um computador quântico

Conquistando a capa da edição de 14 de setembro de 2017 da Nature, cientistas da IBM simularam o hidreto de berílio (BeH<sub>2</sub>), a maior molécula já simulada em um computador quântico.<sup>9</sup> Usando 6 qubits de um sistema IBM Q de 7 qubits, um computador NISQ, os pesquisadores puderam medir o estado de energia mais baixo do BeH<sub>2</sub>, uma medida importante para entender as reações químicas. Embora esse modelo de BeH<sub>2</sub> possa ser simulado em um computador clássico (verificando os resultados do computador quântico), essa conquista é o próximo passo no caminho para que, num futuro próximo, os sistemas quânticos processem reações químicas mais complicadas. Quanto mais sistemas quânticos poderosos forem criados e ferramentas e técnicas concomitantes forem desenvolvidas, espera-se que a química e as life sciences experimentem aplicações inovadoras.

## JP Morgan Chase explora a vantagem quântica

Dada a abundância de veículos de investimento, combinações de carteiras e cenários financeiros potenciais, os consultores financeiros atuais não conseguem criar e gerenciar uma carteira financeira customizada que tenha avaliado praticamente todas as opções possíveis.

Mas, os computadores quânticos poderão investigar o universo das opções de investimento, executando cenários de valoração e risco customizados de acordo com os critérios de desempenho específicos de cada cliente.

A JP Morgan Chase, em colaboração com a IBM, já está experimentando a computação quântica na busca de vantagem quântica em áreas que incluem estratégias comerciais, otimização de carteira, determinação de preço de ativos e análise de risco.<sup>10</sup> As apostas são altas. Se uma instituição financeira pudesse ganhar vantagem competitiva usando a computação quântica, ela poderia acumular bilhões para clientes e acionistas antes que a concorrência pudesse alcançá-la.

## Otimização quântica

A arte de solucionar problemas de otimização envolve descobrir a melhor solução ou a solução “ideal” em uma situação em que existem muitas respostas possíveis. Veja o exemplo de criação de um planejamento de remessa de pacote. Matematicamente, existem mais de 3,6 milhões de combinações possíveis para planejar dez entregas em intervalos de tempo adjacentes.<sup>8</sup> Mas qual planejamento representa a solução ideal dadas variáveis como requisitos de tempo dos destinatários, atrasos potenciais e a vida útil das mercadorias transportadas? Mesmo ao aplicar técnicas de aproximação, o número de possibilidades ainda é excessivamente grande para um computador clássico explorar.

Como resultado, atualmente os computadores clássicos utilizam atalhos extensos para resolver problemas de otimização de tamanho significativo. Infelizmente, suas soluções muitas vezes são abaixo do ideal. Empresas que poderiam se beneficiar da otimização quântica incluem:

- Empresas de telecomunicações que estão fazendo upgrade de sua infraestrutura de rede
- Provedores de assistência médica que estão otimizando os tratamentos dos pacientes
- Governos que estão melhorando o controle de tráfego aéreo
- Empresas de produtos de consumo e varejo que estão customizando ofertas de marketing
- Empresas de serviços financeiros que estão aprimorando sua otimização de risco
- Organizações que estão desenvolvendo calendário de trabalho de funcionários
- Universidade que estão planejando aulas.

Embora ninguém tenha ainda fornecido uma prova matemática confirmando que a computação quântica irá conferir uma velocidade exponencial para os problemas de otimização, os pesquisadores estão trabalhando para demonstrar isso heurísticamente. Empresas visionárias já estão explorando a resolução de problemas de otimização usando a computação quântica para dar um salto à frente da concorrência. Suas previsões podem se transformar em vantagem após as primeiras demonstrações de vantagem quântica na otimização serem confirmadas (veja a barra lateral “JP Morgan Chase”).



## IA aprimorada pela quântica

Dada a sua capacidade de explorar um grande conjunto de possibilidades que um computador clássico não consegue processar, a computação quântica poderia expandir a aptidão da IA. De fato, uma simbiose entre a IA e a computação quântica está começando a criar um ciclo virtuoso de avanço em ambos os campos. Por exemplo, algoritmos quânticos podem aprimorar o aprendizado de máquina na área de armazenamento em cluster de dados,<sup>11</sup> enquanto o aprendizado de máquina pode ser usado para entender melhor os sistemas quânticos.<sup>12</sup>

Computadores cognitivos ativados para a quântica poderiam, eventualmente, permear praticamente todas as indústrias, fornecendo aos profissionais suporte de decisão proativo e avançado, aos funcionários, treinamento responsivo direcionado e aos clientes, relacionamentos de fornecedor adaptáveis e exclusivamente customizados.

## Entre em seu futuro quântico com estas cinco estratégias

As empresas que adotarem NISQ com antecedência poderão superar seus pares, inovando drasticamente os modelos operacionais e criando produtos inovadores. Se o cliente deseja estar na vanguarda, agora é a hora de seus negócios se tornarem preparados para a quântica (veja a Figura 4).

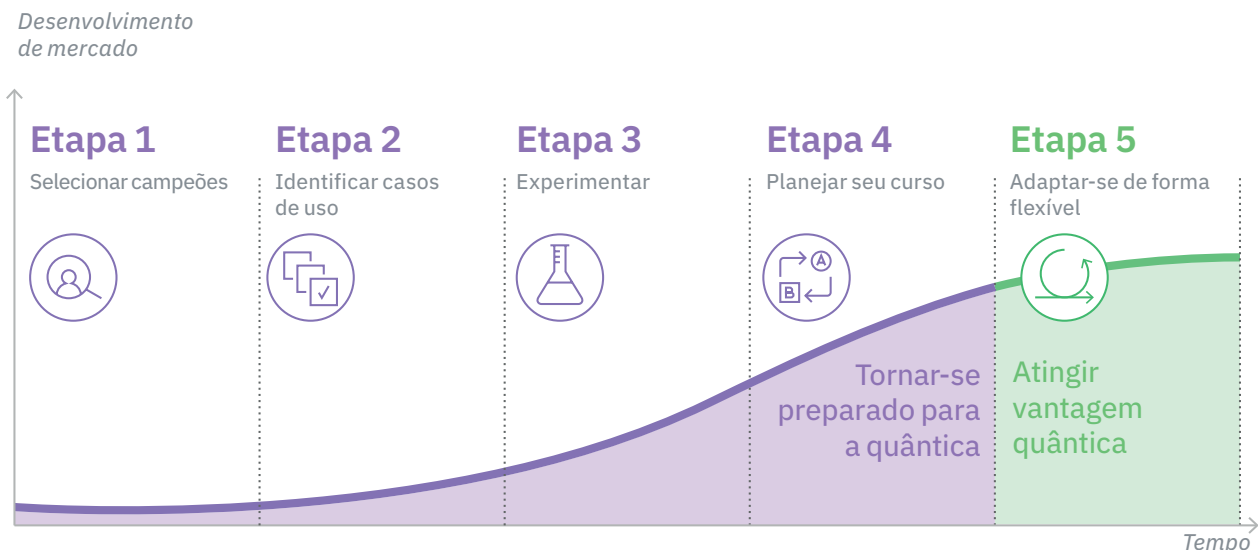
### 1. Selecione seus campeões quânticos

É possível que sua organização precise saber mais sobre os potenciais benefícios da computação quântica. Veja como começar:

- Designe alguns de seus profissionais de liderança como “campeões quânticos”.
- Encarregue seus campeões quânticos de entender a computação quântica, seu impacto potencial em sua indústria, como sua concorrência está respondendo e como seus negócios podem ser beneficiados.
- Peça que seus campeões quânticos se reportem periodicamente à alta administração para educar a organização e alinhar o progresso aos objetivos estratégicos.

**Figura 4**

O caminho para o seu futuro quântico



## Inicie rapidamente o roadmap de sua organização para a computação quântica

Para ajudar sua empresa a traçar um curso para a adoção da computação quântica, é necessário:

- Entender o que é a computação quântica e como ela pode impactar sua indústria.
- Identificar os desafios de negócios em que a computação quântica pode oferecer vantagem competitiva.
- Avaliar o potencial valor para o negócio que sua organização pode derivar da aplicação da tecnologia de computação NISQ para os seus desafios de negócios.
- Desenvolver um roadmap de computação quântica, incluindo próximas etapas que se alinhem com a sua intenção estratégica.

O IBM Q Consulting realiza workshops interativos que mobilizam consultores, cientistas quânticos e especialistas do mercado para ajudar a sua organização a entender como a computação quântica poderia se encaixar em sua estratégia de negócios e no crescimento futuro.<sup>14</sup>

“A Natureza não é clássica, e se você deseja fazer uma simulação da Natureza, será melhor fazê-la com a mecânica quântica...”

Richard Feynman, Físico americano, 1981<sup>13</sup>

### 2. Comece identificando os casos de uso da computação quântica e as propostas de valor associadas

Assim que seus campeões quânticos entenderem como a computação quântica funciona e como ela poderia abordar seus desafios e suas oportunidades de negócios, peça que eles comecem a identificar áreas específicas nas quais a computação quântica poderia impulsionar sua organização à frente da concorrência.

Avalie as oportunidades com base nos recursos específicos dos sistemas quânticos e em sua capacidade de impulsionar a vantagem. Peça para que seus campeões quânticos monitorem o progresso do desenvolvimento de aplicativos quânticos para controlar quais casos de uso podem ser comercializados antes. Para ajudar a assegurar que sua exploração quântica seja vinculada aos resultados comerciais, selecione suas aplicações da computação quântica mais promissoras, como a criação de produtos e serviços inovadores ou novas maneiras de otimizar sua cadeia de suprimentos.

### 3. Experimente com sistemas quânticos reais

Desmistifique a computação quântica, testando um computador quântico real (veja a barra lateral). Faça com que seus campeões quânticos tenham uma ideia de como a computação quântica pode resolver seus problemas de negócios e interagir com suas ferramentas existentes. Uma solução quântica pode não ser adequada para todos os problemas de negócios. Seus campeões precisam focar nas soluções para seus casos de uso de prioridade mais alta que os computadores clássicos não conseguem resolver na prática.

### 4. Planeje seu curso quântico

Construa um roadmap da computação quântica, incluindo as próximas etapas viáveis, com o propósito de solucionar problemas que possam criar barreiras competitivas formidáveis e vantagem de negócio sustentável. Para acelerar a prontidão quântica de sua organização, considere participar de uma comunidade quântica emergente. Isso pode ajudá-lo a obter melhor acesso à infraestrutura técnica, às aplicações emergentes do setor e aos pesquisadores que podem aprimorar seu desenvolvimento de aplicações quânticas específicas.

## 5. Seja flexível em relação ao seu futuro quântico

A computação quântica está evoluindo rapidamente. Busque tecnologias e kits de ferramentas de desenvolvimento que estejam se tornando o padrão de mercado e em torno dos quais os ecossistemas estejam unidos. Perceba que novos avanços podem exigir que você ajuste sua abordagem em seu processo de desenvolvimento quântico, incluindo a mudança de seus parceiros de ecossistema. Esteja ciente de como suas próprias necessidades da computação quântica podem evoluir ao longo do tempo, particularmente à medida que você melhora seu entendimento de quais problemas de negócios podem se beneficiar mais das soluções da computação quântica.

## Sua organização está preparada para capturar vantagem quântica?

Existem problemas de negócios que os computadores clássicos não conseguem resolver, e nunca irão. Agora é a hora de se preparar para a quântica, para colocar sua empresa em uma posição de vantagem no futuro:

- Qual é o nível atual de conhecimento sobre a quântica em sua organização?
- Como seu setor, e especificamente sua cadeia de valor, podem se transformar com a computação quântica?
- Quais problemas de simulação, de otimização ou de aprendizado de máquina são cruciais para a vantagem competitiva de sua empresa?
- Quais casos de uso da computação quântica entregariam o maior valor de negócios de competitividade para a sua empresa?
- E se seus concorrentes se beneficiassem das soluções quânticas antes de você?

## Experimente um computador quântico

O IBM Q Experience e o Qiskit permitem acesso gratuito a computadores quânticos de 16 qubits, simuladores, recursos educacionais e a uma comunidade colaborativa da IBM engajada na exploração da computação quântica.<sup>15</sup> Os algoritmos e experimentos quânticos são desenvolvidos usando um framework de programação de software livre baseada em Python, chamado Qiskit. Os recursos disponíveis incluem tutoriais do bloco de notas do Jupyter que resolvem problemas de simulação e otimização<sup>16</sup> e mais de 120 trabalhos de pesquisa que abordam tópicos como a descoberta de novos aplicativos para a computação quântica e a criação de novas funcionalidades, como compiladores quânticos. Especialistas em química, IA e otimização, que não estão familiarizados com a computação quântica, podem usar o Qiskit Aqua, uma biblioteca extensível de software livre com algoritmos quânticos, para pesquisar aplicações do mundo real. Até o momento, mais de 100.000 usuários de empresas e instituições educacionais em sete continentes (inclusive a Antártida) realizaram mais de 6,5 milhões de experimentos quânticos no IBM Q Experience por meio da IBM Cloud.

## Participe de uma comunidade de computação quântica emergente

As parcerias entre os fornecedores de tecnologia e as organizações visionárias estão expandindo. Seu intuito é pura e simplesmente desenvolver casos de uso da computação quântica e aplicações correspondentes que resolvam problemas do mundo real intratáveis anteriormente. A IBM Q Network é um ecossistema global de empresas da lista Fortune 500, de instituições acadêmicas líderes, de startups e de laboratórios de pesquisa nacionais, habilitado pelos computadores quânticos, cientistas, engenheiros e consultores da IBM. Os participantes colaboram para acelerar os avanços na computação quântica que podem produzir aplicações comerciais antecipadas.<sup>17</sup>

As organizações que se juntam à IBM Q Network podem experimentar como seus problemas de alto valor são mapeados para um computador quântico real. Hoje, elas podem acessar um processador quântico IBM Q de 20 qubits por meio da IBM Cloud. No futuro, um computador quântico de 50 qubits estará disponível.

## Para mais informações

Para saber mais sobre este estudo do IBM Institute for Business Value, entre em contato conosco em [iibv@us.ibm.com](mailto:iibv@us.ibm.com). Siga [@IBMIBV](https://twitter.com/IBMIBV) no Twitter e, para obter um catálogo completo de nossa pesquisa ou para assinar nossa newsletter mensal, visite: [ibm.com/ibv](https://ibm.com/ibv).

Acesse os relatórios executivos do IBM Institute for Business Value no seu dispositivo móvel fazendo o download dos aplicativos gratuitos “IBM IBV” para telefone ou tablet a partir da sua loja de aplicativos.

## O parceiro certo para um mundo em constante mudança

Na IBM, colaboramos com nossos clientes, reunindo insights de negócios, pesquisas avançadas e tecnologias para proporcionar uma vantagem distinta no ambiente atual, que está mudando rapidamente.

## IBM Institute for Business Value

O IBM Institute for Business Value (IBV), parte do IBM Services, desenvolve percepções estratégicas baseadas em fatos para executivos de negócios seniores em questões críticas do setor público e privado.

## Sobre os autores



### Dr. Dario Gil

[linkedin.com/in/dario-gil-58575713](https://www.linkedin.com/in/dario-gil-58575713)  
[dario.gil@us.ibm.com](mailto:dario.gil@us.ibm.com)

Dr. Dario Gil é o Chief Operating Officer da IBM Research, uma organização global com mais de 3.000 pesquisadores em 13 laboratórios dedicados ao avanço das fronteiras da tecnologia da informação. Ele também é o Vice President of AI and Quantum Computing, responsável pelos esforços de pesquisa global da IBM em IA e pelo programa de computação quântica da IBM.



### Jesus Mantas

[linkedin.com/in/jmantas](https://www.linkedin.com/in/jmantas)  
[jesus.mantas@us.ibm.com](mailto:jesus.mantas@us.ibm.com)

Jesus Mantas é o Managing Partner dos IBM Global Business Services, que supervisiona a estratégia global, as ofertas, os ativos cognitivos, as fusões e aquisições e o IBM Institute for Business Value. Ele vem transformando negócios de clientes com tecnologia há mais de 35 anos. Ele é coordenador de diversidade hispânica na IBM e lidera iniciativas para ensinar a tecnologia de IA para meninas.



### Dr. Robert Sutor

[linkedin.com/in/bobsutor](https://www.linkedin.com/in/bobsutor)  
[sutor@us.ibm.com](mailto:sutor@us.ibm.com)

Dr. Robert Sutor é Vice Presidente de Quantum Computing Strategy and Ecosystem do IBM Research. Ele é um líder inovador e um tecnólogo com conhecimento profundo em computação quântica, IA, blockchain, análise de dados, ciência de dados, aplicativos e tecnologias para dispositivos móveis, cloud, rede social, software livre e pesquisa industrial.



### Lynn Kesterson-Townes

[linkedin.com/in/lynnkesterson](https://www.linkedin.com/in/lynnkesterson)  
[lkt@us.ibm.com](mailto:lkt@us.ibm.com)

Lynn Kesterson-Townes é a Global Cloud and Quantum Leader para o IBM Institute for Business Value. Ela tem mais de 20 anos de experiência em consultoria de gerenciamento, desenvolvimento de negócios, planejamento estratégico, marketing e fusões e aquisições.



### Dr. Frederik Flöther

[linkedin.com/in/frederikfloether](https://www.linkedin.com/in/frederikfloether)  
[frederik.floether@ch.ibm.com](mailto:frederik.floether@ch.ibm.com)

Dr. Frederik Flöther é o Global Life Sciences Leader para o IBM Q Consulting e possui um Ph.D. em física quântica. Ele trabalha com clientes para gerar valor por meio das tecnologias da nova geração, particularmente computação quântica e IA.



### Chris Schnabel

[linkedin.com/in/Schnabel](https://www.linkedin.com/in/Schnabel)  
[chris.schnabel@us.ibm.com](mailto:chris.schnabel@us.ibm.com)

Chris Schnabel é Global Quantum Computing Offering Manager da IBM. Ele é um líder altamente analítico com ampla experiência técnica e de engenharia na definição e execução de estratégias de ofertas de produtos e serviços da computação quântica da IBM.

### Contribuidores

Os autores agradecem ao Dr. Anthony Annunziata, ao Dr. Jerry Chow, ao Dr. Jay Gambetta e a Joe Raffa por suas contribuições no desenvolvimento deste relatório executivo.

## Como a IBM pode ajudar

A IBM está construindo os primeiros computadores quânticos universais para negócio e ciência. O IBM Q Experience e o Qiskit permitem acesso gratuito a computadores quânticos, simuladores, recursos educacionais e a uma comunidade colaborativa da IBM engajada na exploração da computação quântica. As organizações que se juntam à IBM Q Network podem colaborar e acessar tecnologias mais avançadas, inclusive sistemas quânticos IBM Q maiores por meio da IBM Cloud. O IBM Q Consulting ajuda os clientes a definir suas estratégias quânticas, mobilizando consultores, cientistas quânticos e especialistas do setor para definir como o alto desempenho e a computação quântica podem criar uma vantagem. Para obter mais informações, visite [ibm.com/ibmq](https://ibm.com/ibmq)

## Metodologia

Além de uma revisão abrangente dos documentos e artigos de pesquisa publicados, nós entrevistamos, para este relatório, executivos, cientistas, pesquisadores, gerenciadores de oferta e consultores da IBM que trabalham no IBM Q. Nós também conversamos com especialistas no assunto em startups quânticas, empresas de capital de investimento, universidades e fornecedores de plataforma de tecnologia quântica.

## Relatórios relacionados

Sutor, Robert e Heather Higgins. “Taking the quantum leap: Why now?” IBM Institute for Business Value. Fevereiro de 2018. [ibm.biz/whyquantum](https://ibm.biz/whyquantum)

Rjaibi, Walid, Sridhar Muppidi e Mary O’Brien. “Wielding a double-edged sword: Preparing cybersecurity now for a quantum world.” IBM Institute for Business Value. Julho de 2018. [ibm.biz/quantumsecurity](https://ibm.biz/quantumsecurity)

À medida que estudos quânticos adicionais forem disponibilizados, nós os postaremos em [ibm.biz/ibvquantum](https://ibm.biz/ibvquantum)

## Sobre o Research Insights

Os relatórios Research Insights são insights estratégicos baseados em fatos para executivos de negócios sobre problemas críticos dos setores público e privado. Eles se baseiam em descobertas da análise de nossos próprios estudos de pesquisa principais. Para obter mais informações, entre em contato com o IBM Institute for Business Value em [iibv@us.ibm.com](mailto:iibv@us.ibm.com).

## Notas e fontes

- 1 Análise interna da IBM baseada em uma função polinomial ( $a^n$  para  $a=1$ ) e uma função exponencial ( $a^k \cdot n$  para  $a=1$  e  $k=10$ ).
- 2 Sergey Bravyi, David Gosset, Robert Koenig. “Quantum Advantage with Shallow Circuits.” Cornell University Library. <https://arxiv.org/abs/1704.00690>
- 3 “Quantum Computing Market by Revenue Source, Application (Simulation, Optimization, and Sampling), Industry (Defense, Banking & Finance, Energy & Power, Chemicals, and Healthcare & Pharmaceuticals), and Geography – Global Forecast to 2023.” marketsandmarkets.com. Agosto de 2017. [https://www.marketwatch.com/story/why-goldman-sees-veggie-burgers-among-the-futures-most-exciting-technologies-2017-12-13](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/quantum-computing-market-144888301.html?gclid=EAIaIQobChMI9qarxIa_2gIVkFuGCh022AfdEAAYASAAEgKnxFD_BwE, Vlastelica, Ryan. “Why Goldman sees veggie burgers among the future’s most exciting technologies.” MarketWatch. 15 de dezembro de 2017. <a href=)
- 4 Definition of “quantum.” Cambridge Dictionary. <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/quantum>. Acessado em 9 de julho de 2018.
- 5 Preskill, John. “Quantum computing in the NISQ era and beyond.” Cornell University Library. 31 de julho de 2018. <https://arxiv.org/abs/1801.00862v3>
- 6 Vincent, James. “Biggest ever quantum chip announced, but scientists aren’t buying it.” The Verge. 28 de setembro de 2016. <https://www.theverge.com/2016/9/28/13057414/quantum-computer-d-wave-2000-qubit-chip>
- 7 “Max Planck Quotes.” Goodreads. Acessado em 17 de dezembro de 2019. <https://www.goodreads.com/quotes/1246159-when-you-change-the-way-you-look-at-things-the>
- 8  $10! = 3.63$  million
- 9 IBM press release. “IBM Pioneers New Approach to Simulate Chemistry with Quantum Computing.” 13 de setembro de 2017. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53137.wss>

- 10 IBM press release. “IBM Announces Collaboration with Leading Fortune 500 Companies, Academic Institutions and National Research Labs to Accelerate Quantum Computing.” 14 de dezembro de 2017. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53483.wss>. Kahn, Jeremy. “IBM Taps Samsung, JPMorgan, Daimler in Quantum Computing Push.” Bloomberg. 14 de dezembro de 2017. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-14/ibm-taps-samsung-jpmorgan-daimler-in-quantum-computing-push>
- 11 Marr, Bernard. “How Quantum Computers Will Revolutionize Artificial Intelligence, Machine Learning and Big Data.” Forbes. 5 de setembro de 2017. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/09/05/how-quantum-computers-will-revolutionize-artificial-intelligence-machine-learning-and-big-data/#1cb5483e5609>. Biamonte, Jacob, Peter Wittek, Nicola Pancotti, Patrick Rebentrost, Nathan Wiebe, Seth Lloyd. “Quantum machine learning.” Nature. 13 de setembro de 2017. <https://www.nature.com/articles/nature23474>
- 12 Torlai, Giacomo, Guglielmo Mazzola, Juan Carrasquilla, Matthias Troyer, Roger Melko, Giuseppe Carleo. “Neural-network quantum state tomography.” Nature. 26 de fevereiro de 2018. <https://www.nature.com/articles/s41567-018-0048-5>
- 13 Feynman, Richard. “On quantum physics and computer simulation.” Los Alamos Science. Número 27, 2002. <http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-02-4969-02>
- 14 “Jump-start quantum computing with IBM Q Consulting.” ibm.com. <https://www.research.ibm.com/ibm-q/consulting/> Acessado em 9 de julho de 2018.
- 15 “Welcome to the IBM Q experience!” ibm.com. <https://quantumexperience.ng.bluemix.net/> Acessado em 9 de julho de 2018.
- 16 Disponível por meio do repositório de acesso livre Qiskit do GitHub em <https://github.com/Qiskit>
- 17 “IBM Q Network: Bringing quantum out of the lab and into the world.” ibm.com. <https://www.research.ibm.com/ibm-q/network/#/>. Acessado em 9 de julho de 2018.

**IBM Brasil Ltda**  
 Rua Tutóia, 1157  
 CEP 04007-900  
 São Paulo – SP  
 Brasil

A página inicial da IBM pode ser localizada em:  
**ibm.com**

IBM, o logotipo IBM, ibm.com e Watson são marcas registradas da International Business Machines Corp., registradas em muitas jurisdições em todo o mundo. Outros nomes de produtos e serviços podem ser marcas comerciais da IBM ou de outras empresas. Uma lista atual das marcas comerciais da IBM está disponível na web em “Copyright and trademark information” em: [ibm.com/legal/copytrade.shtml](http://ibm.com/legal/copytrade.shtml).

Este documento é considerado atual na data inicial de publicação e pode ser alterado pela IBM a qualquer momento. Nem todas as ofertas estão disponíveis em todos os países em que a IBM atua.

AS INFORMAÇÕES NESTE DOCUMENTO SÃO FORNECIDAS “NO ESTADO EM QUE SE ENCONTRAM” SEM GARANTIA DE NENHUM TIPO, EXPRESSA OU IMPLÍCITA, NÃO INCLUINDO GARANTIA DE COMERCIALIZAÇÃO, ADEQUAÇÃO A UM DETERMINADO PROPÓSITO E QUALQUER GARANTIA OU CONDIÇÃO DE NÃO VIOLAÇÃO. Os produtos IBM são garantidos de acordo com os termos e condições dos respectivos contratos de fornecimento.

Este relatório é apenas para instrução geral. Ele não tem o intuito de substituir pesquisas detalhadas ou o exercício de discernimento profissional. A IBM não será responsável por nenhuma perda, de nenhum tipo, acarretada por uma organização ou pessoa que confie nesta publicação.

Os dados utilizados neste relatório podem ser obtidos de fontes de terceiros e a IBM não verificará, validará ou auditará esses dados de forma independente. Os resultados do uso desses dados são fornecidos “no estado em que se encontram” e a IBM não oferece nenhuma declaração ou garantia, expressa ou implícita.

© Copyright IBM Corporation 2020

