

# Três passos adiante

Físicos de Minas e São Paulo aprimoram manipulação e transmissão de dados em computadores quânticos

RICARDO ZORZETTO

# E

m três estudos recentes, pesquisadores de Minas Gerais e de São Paulo apresentam contribuições teóricas e experimentais que devem ajudar no desenvolvimento de um tipo especial de computador que povoa a mente dos físicos há três décadas, desde que o químico Charles Bennett, da gigante da informática

IBM, demonstrou que era possível usar características das partículas atômicas para processar informações. É o computador quântico, assim chamado por funcionar segundo as leis da mecânica quântica, área da física que investiga os fenômenos do mundo dos átomos e das moléculas.

O resultado de aplicação prática mais imediata surge do trabalho do físico José Maria Villas-Bôas, ex-aluno de Nelson Studart na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no interior de São Paulo, que atualmente realiza suas pesquisas de pós-doutorado na Universidade de Ohio, Estados Unidos. Villas-Bôas descobriu uma solução simples para falhas em um dos sistemas nanoscópicos, de milionésimos de milímetro, mais cotados para integrar o processador desses computadores do futuro: os pontos quânticos, pirâmides ou semi-esferas bilhões de vezes menores que a ponta de uma agulha, criadas sobre materiais semicondutores.

Ainda não se sabe qual será a aparência dos computadores quânticos, mas os físicos acreditam que a principal mudança ocorrerá na estrutura do processador e na forma de lidar com as unidades de informação, os bits. Nos computadores clássicos, os processadores são placas de silício do tamanho de uma moeda, com até 400 milhões de transistores. Quando o processador executa um comando, o transistor permite ou bloqueia a passagem de eletricidade e a informação é codificada em um sistema de dois números, zero ou 1. Em substituição aos transistores, os computadores quânticos deverão usar dezenas ou centenas de pontos quânticos, átomos ou corpúsculos de luz (fótons). E com vantagens. Enquanto o transistor lida com uma informação por vez, em uma relação de exclusão, o processador quântico trabalha simultaneamente com inúmeros estados físicos simbolizados por infinitas combinações





Rastros de luz:  
quando o caminho  
é a informação



da probabilidade de ser zero ou 1: por exemplo, 99% de chance de ser zero e 1% de ser 1 ou 42% de ser zero e 58% de ser 1. Eis a unidade de informação quântica: o bit quântico ou *qubit*.

Para realizar cálculos, os físicos atribuem valores arbitrários às propriedades das partículas atômicas, como o plano de vibração do campo elétrico dos fótons em um laser. Um exemplo ajuda a compreender. Pode-se determinar que o campo elétrico dos fótons oscilando no plano vertical, do mesmo modo que uma corda agitada por crianças, corresponde ao estado zero e a vibração na horizontal, ao 1. Segundo uma propriedade do mundo das partículas chamada superposição de estados quânticos, os fótons podem vibrar em infinitas direções ao mesmo tempo. Essa propriedade garante ao processador quântico uma agilidade inigualável para lidar com diferentes informações ao mesmo tempo e, em tese, elevar ao infinito a capacidade de processamento de um punhado de átomos.

Atualmente há ao menos duas propostas de utilização dos pontos quânticos para realizar operações lógicas. Na primeira, aprisiona-se uma única partícula de carga elétrica negativa (elétron) no interior dessas estruturas nanoscópicas e, em seguida, tenta-se controlar o sentido de rotação desse elétron com o auxílio de campos eletromagnéticos. Mas a alternativa aparentemente mais viável é bombardear o ponto quântico com pulsos rápidos de um laser cujos fótons vibram com mais energia que o elétron.

Nessa interação, o laser transfere energia ao elétron, que salta da região em que se encontra para outra mais energética no interior do ponto quântico, estruturas com 2 a 50 nanômetros. Como consequência, a região antes ocupada pelo elétron fica vazia e com carga positiva – a combinação estável do elétron excitado com a região vazia (buraco) compõe um estado que os físicos chamam de éxciton. Se desta vez o laser atingir o elétron excitado, a partícula de carga elétrica negativa retorna para a região de menor energia

do ponto quântico e o conjunto volta a seu estado original ou fundamental.

Foi essa possibilidade de criar esses estados distintos – um fundamental e outro excitado – que levou os físicos a proporem os pontos quânticos como alternativa de processador. Mas há dificuldades. Como a intensidade da corrente elétrica gerada por um único elétron é baixa, é preciso repetir várias vezes o bombardeamento com laser até se produzir uma corrente mensurável. É nessa fase que surgem os problemas. Artur Zrenner, da Universidade de Paderborn, na Alemanha, constatou que esse bombardeamento repetitivo produz uma interferência que impede a leitura precisa da informação codificada no estado de energia do ponto quântico e descreveu esse entrave em 2002 em um artigo na *Nature*. Em uma comparação com o mundo macroscópico, é como se fosse preciso olhar muitas vezes para uma pessoa a fim de saber se ela está de chapéu, mas a cada olhar se formasse uma nuvem de fumaça diante dos olhos, impedindo-nos de ver com clareza.

**D**

iante desse resultado, Villas-Bôas e os físicos Sergio Ulloa e Alexander Govorov, ambos da Universidade de Ohio, iniciaram a busca de explicações

para essa interferência indesejável, semelhante à chiadeira que surge na recepção de uma rádio FM quando se atravessa uma região da cidade repleta de emissoras. E a encontraram na origem dos pontos quânticos: na finíssima camada sobre a qual se formam essas estruturas. Composta pelo mesmo material semicondutor do ponto quântico – uma mistura de arseneto de gálio e arseneto de índio –, essa camada apresenta regiões nas quais podem surgir elétrons excitados com mais energia que no interior do ponto quântico, afetando a intensidade da corrente elétrica produzida, como descreveram Villas-Bôas, Ulloa e Govorov na *Physical Review Letters* de 11 de fevereiro.

Como contornar o problema? Simples: é só bombardear o ponto quântico com pulsos de laser menos intensos e mais prolongados, propõem os pesquisadores. É que o uso de pulsos menos intensos reduz a probabilidade de gerar elétrons excitados de energia mais alta na camada abaixo do ponto quântico. E parece que funciona. “No ano passado, Artur Zrenner conversou comigo depois que apresentei esse trabalho na conferência Quantum Dot, no Canadá”, conta Villas-Bôas. “Mesmo sem conhecer meu estudo, ele refez os experimentos com pulsos de laser mais longos e obteve resultados melhores, mas não sabia explicar o porquê.”

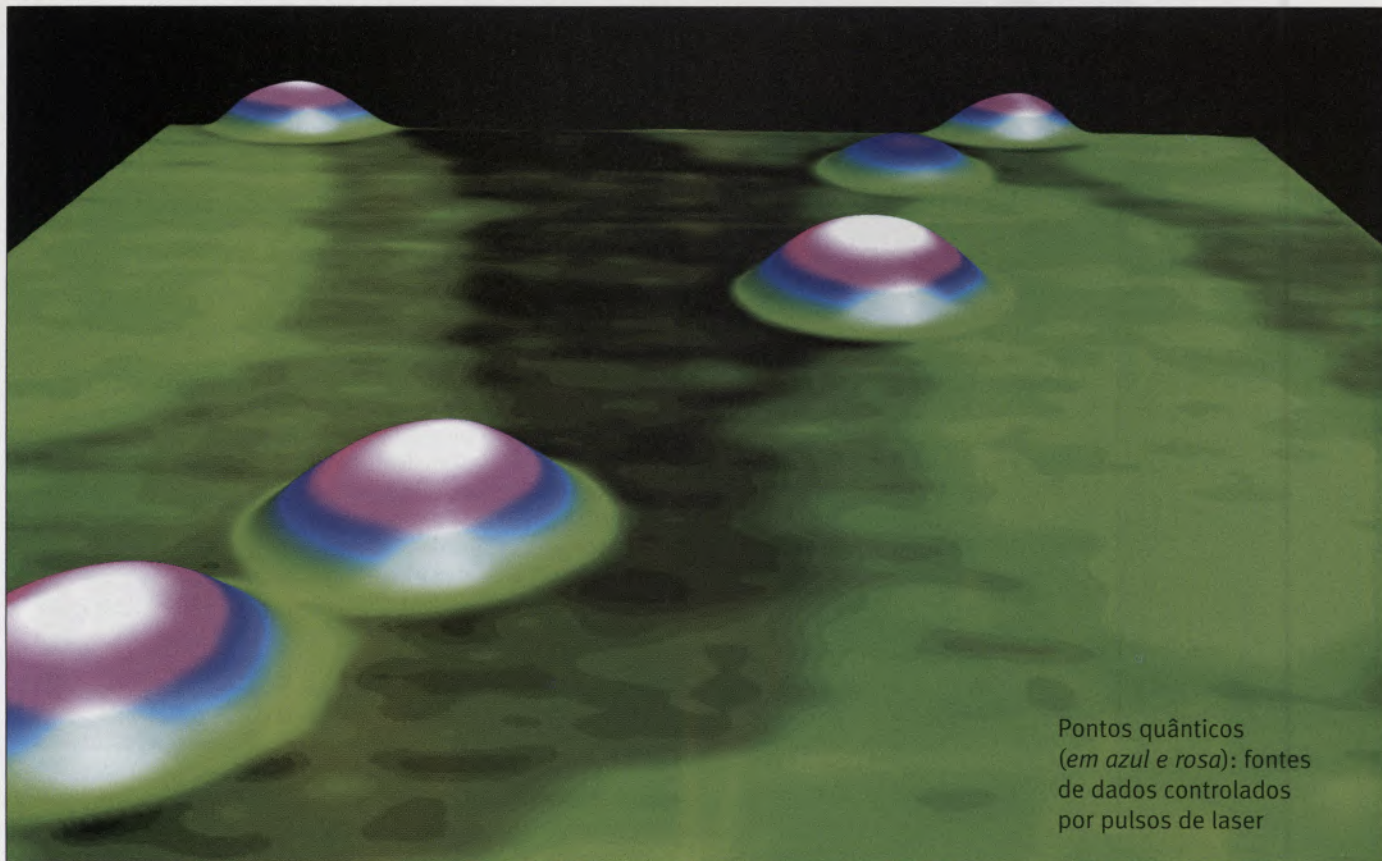
**Caminhos simétricos** - Em paralelo ao progresso com os protótipos de processador quântico, físicos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) apresentaram dois outros avanços relevantes: encontraram formas de aumentar a capacidade de processamento e de transmissão de informação de um computador quântico.

Na UFMG, Sebastião Pádua, Leonardo Neves, Gustavo Lima e Carlos Monken desenvolveram e testaram uma estratégia engenhosa que permite aumentar a quantidade de informação associada a cada bit quântico. Em colaboração com José Aguirre e Carlos Saavedra, da Universidad de Concepción, no Chile, a equipe de Pádua associou a informação a outra propriedade inerente aos fótons: o caminho percorrido por esses corpúsculos de luz.

Não há mágica. E algum esforço de imaginação ajuda a entender a proposta mineira. Ao atravessar um cristal especial, o feixe de laser é transformado em dois feixes de fótons gêmeos, que se propagam em sentidos diferentes, com ângulos simétricos em relação à trajetória inicial. Uma propriedade intrigante da física quântica chamada entrelaçamento quântico garante que duas partículas distintas e separadas – ou mesmo dois conjuntos de partículas, caso dos feixes-irmãos – reagirão de uma maneira predeterminada quando uma delas recebe um estímulo.

A equipe de Pádua direcionou cada um dos feixes-irmãos para um anteparo diferente, a 20 centímetros do cristal, e com quatro fendas muito estreitas, de





Pontos quânticos  
(em azul e rosa): fontes  
de dados controlados  
por pulsos de laser

0,09 milímetro. Ao produzir os feixes de fótons gêmeos, os físicos os programaram para cumprir a seguinte exigência: ao sair do cristal, os corpúsculos de luz passariam por fendas simetricamente opostas. Assim, se o fóton da direita atravessasse a mais elevada das quatro fendas, o da esquerda obrigatoriamente cruzaria a mais inferior do anteparo esquerdo. Além da informação codificada no plano de polarização, agora é possível somar outras quatro informações, vinculadas aos caminhos que os fótons podem percorrer.

E quanto maior o número de fendas, mais informação será atrelada aos feixes-irmãos. Experimentos com anteparos de 4 e 8 fendas, descritos pela equipe mineira e chilena na *Physical Review Letters* de 18 de março, mostraram que a estratégia é viável e o índice de acerto, elevado: ao menos 96%. Os cálculos indicam que é possível obter bons resultados com até 10 fendas.

Pode-se argumentar que anteparos com fendas não são o melhor material para integrar um processador quântico. Mas o que interessa é o princípio de funcionamento. “Imagine que, no lugar

das fendas, temos fibras ópticas”, propõe Pádua. “Essa simples substituição permitiria transportar mais informação usando menos pulsos de luz.”

**Pacote único** - O autor da terceira contribuição é o físico Gustavo Rigolin, da Unicamp. Valendo-se de particularidades do entrelaçamento quântico, ele propôs uma saída a um dos gargalos da computação quântica: a transmissão de informações. De nada adianta um processador supereficiente, capaz de realizar em segundos cálculos que levariam bilhões de anos em um computador clássico, se os resultados tiverem de ser transferidos um a um até o local em que serão armazenados.

Quase 20 anos depois de revelar a possibilidade de usar partículas atômicas para realizar cálculos, Charles Bennett identificou em 1993 uma surpreendente propriedade da física quântica: o teletransporte, capacidade de transmitir características de uma partícula atômica a outra distante. Até recentemente a eficiência do teletransporte era baixa, porque só se conseguia transmitir as características de uma única par-

tícula por vez. Em um artigo na *Physical Review A*, Rigolin propõe procedimentos que permitem enviar simultaneamente inúmeros estados quânticos de um grupo de partículas para outro.

Imagine que se queira transferir as informações de uma centena de elétrons colocados na Catedral da Sé, no centro de São Paulo, para outra centena de elétrons na Candelária, região central do Rio. Rigolin descobriu que só consegue transmitir as características das partículas paulistanas para as cariocas se tiver à disposição outra centena de elétrons intermediários. Ao entrelaçar as partículas intermediárias com as paulistanas, ambas passam a compartilhar as mesmas características. Em seguida, as partículas intermediárias funcionam como uma ponte quântica ou canal quântico e transferem suas propriedades aos elétrons cariocas. Além de aumentar a capacidade de transmitir informações simultaneamente, esse modelo permite corrigir eventuais erros na informação transmitida e criar códigos de segurança mais eficazes, que denunciariam qualquer tentativa de interceptar a informação. •