

Como treinar nanotubos

Experimento usa redes aleatórias de cilindros de carbono para realizar operações matemáticas

Igor Zolnerkevic

Imagine um relojoeiro maluco que, em vez de projetar molas, engrenagens e planejar como encaixar essas peças para construir um relógio, trabalhasse por um método pouco convencional, pondo as peças numa caixa e chacoalhando até elas se encaixarem e formarem um mecanismo que funcione perfeitamente.

Algo semelhante foi obtido por uma equipe da Universidade de Durham, no Reino Unido, em colaboração com o físico brasileiro Diogo Volpati, do Instituto de Física de São Carlos, da Universidade de São Paulo (USP). Os pesquisadores fabricaram um filme muito fino usando um polímero (polimetacrilato de butila) contendo um emaranhado de nanotubos de carbono – estruturas cilíndricas formadas por folhas de carbono com apenas um átomo de espessura enroladas sobre si mesmas, um material de grande interesse por suas propriedades elétricas e mecânicas.

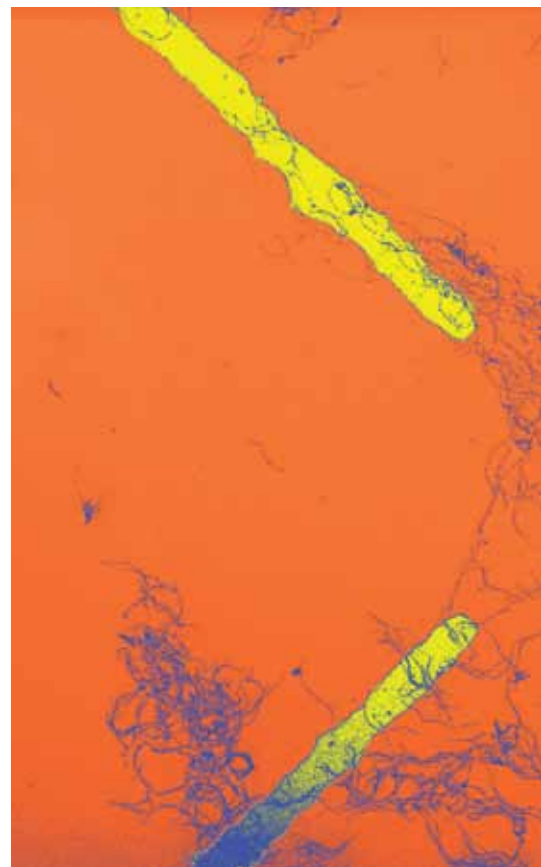
Pronto o filme, a equipe aplicou uma sequência de pulsos elétricos no material para alterar a capacidade de condução elétrica dos nanotubos e identificar como a rede poderia ser utilizada para processar informações. Os pesquisadores chamam essa estratégia de “treinamento” do material. Isso permitiu trabalhar com o filme de

nanotubos para executar uma tarefa que apenas um circuito eletrônico de computador consegue: processar sinais elétricos de modo a realizar operações lógicas.

“Essa é uma nova abordagem para a fabricação de nanodispositivos eletrônicos, na fronteira entre a ciência da computação, a ciência dos materiais e a engenharia elétrica”, diz Volpati. “Em vez de montar placas de circuitos eletrônicos para processar informação, nós ‘treinamos’ um material inicialmente desorganizado para executar a tarefa desejada.”

Esse modo de produzir novos materiais que se comportam como circuitos eletrônicos é inspirado na forma como os organismos vivos evoluem. Em 2004 o físico Julian Miller, da Universidade de York, no Reino Unido, batizou essa estratégia de evolução em materiais (*evolution in materio*). Ela permite obter circuitos eletrônicos sem a necessidade de se ter o controle total sobre a montagem de sua estrutura. Físicos, engenheiros e cientistas da computação acreditam que a *evolution in materio* é um dos caminhos para superar um problema que assombra a microeletrônica: o limite da miniaturização dos *chips* de computadores. Nas últimas décadas a capacidade de processar informação vem aumentando

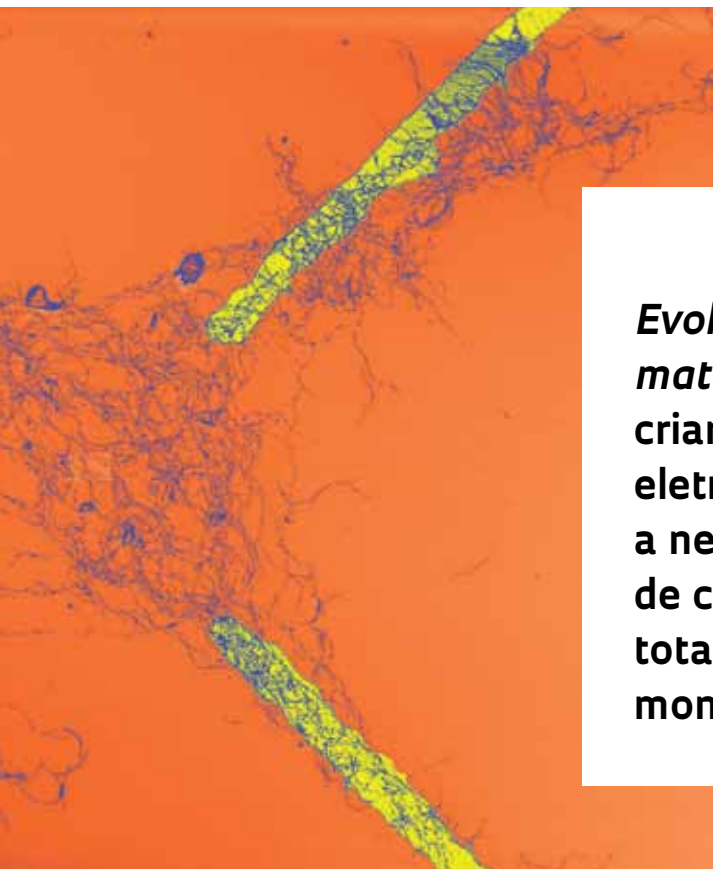
Evolução: pulsos elétricos alinham nanotubos (azul) imersos em cristal líquido a eletrodos de ouro (amarelo)



continuamente porque se tem conseguido esculpir cada vez mais circuitos eletrônicos em espaços cada vez menores. Mas está chegando o ponto em que deixa de ser fisicamente possível manipular a matéria para fazer os circuitos encolherem ainda mais.

Miller e outros pesquisadores perseguem esse objetivo no Projeto de Engenharia em Nanoescala para Nova Computação Usando Evolução (Nascence), que envolve cinco universidades europeias e desde 2012 promove a colaboração entre cientistas da computação, físicos e engenheiros em busca de novos materiais e maneiras diferentes de treiná-los.

Especialista na fabricação e na caracterização de novos nanomateriais, Volpati foi convidado por Michael Petty, líder do grupo de Durham no projeto Nascence, para participar dos experimentos com o material feito de nanotubos de carbono misturados com o polímero. Sob certas condições, os nanotubos podem desempenhar o papel de fios elétricos micros-



Evolution in materio permite criar circuitos eletrônicos sem a necessidade de controle total sobre sua montagem

cópicos. Assim, o emaranhado no interior do polímero funciona como um circuito eletrônico, mas todo bagunçado antes de o experimento começar.

Nos testes, um pedacinho do material é conectado a computadores normais por uma série de eletrodos. A função de alguns deles é disparar pulsos elétricos que representam os dados de entrada – uma sequência de números, por exemplo – para um cálculo matemático. Esses pulsos atravessam a rede de nanotubos de carbono e são captados na outra extremidade. Os pulsos coletados na saída correspondem à solução para o problema matemático.

REALINHAMENTO

Como os nanotubos estão desordenados, porém, no início dos experimentos a rede embaralha os sinais elétricos de entrada. O resultado é que os dados de saída dão a resposta errada ao problema. A capacidade de solucionar o problema melhora à medida que eletrodos adicionais disparam sinais elétricos produzidos por um programa de computador cujo objetivo é identificar a configuração de pulsos elétricos capaz de modificar a orientação espacial dos nanotubos. Feito por tentativa e erro, o trabalho desse programa, conhe-

cido como algoritmo evolutivo, demora apenas alguns segundos e permite descobrir a melhor maneira de orientar os nanotubos e processar uma determinada informação em um conjunto de circuitos elétricos com estrutura desconhecida.

Usando essa estratégia, Mark Massey, pós-doutorando na Universidade de Durham, Volpati e seus colegas testaram diferentes misturas de polímeros com nanotubos de carbono. Em um artigo publicado em abril na revista *Journal of Applied Physics*, eles mostraram que o material só realiza uma determinada operação matemática se a concentração de nanotubos de carbono dispersos entre as moléculas de polímero variar entre 0,11% e 1%. “Apenas nessas concentrações o material possui as propriedades físicas necessárias para realizar a tarefa”, explica Volpati.

A computação realizada pelo material nesse experimento foi bastante simples. O emaranhado de nanotubos fez apenas três tipos de soma: 0 + 0; 1 + 1; e 1 + 0. Em 2014, entretanto, a equipe de Petty já havia usado o mesmo material para resolver uma questão um pouco mais complexa, conhecida como problema do caixeiro-viajante: determinar o caminho mais curto para um vendedor ambulante percorrer uma série

de cidades vizinhas. O filme de nanotubos permitiu resolver o problema para até 12 cidades, dispostas em círculo num mapa. “Essas são provas de princípio”, explica Volpati. “O desafio agora é desenvolver um pedaço de material capaz de substituir a placa de circuitos eletrônicos que controla um robô, por exemplo.”

Uma das dificuldades que os pesquisadores enfrentam é que os filmes de nanotubos de carbono são rígidos, com uma séria limitação: o aprendizado é passagiero. Eles só funcionam como circuitos eletrônicos enquanto os pulsos do algoritmo de busca evolutivo estiverem sendo aplicados. Uma vez desligados esses pulsos, o material perde as propriedades elétricas que lhe permitem atuar como um circuito.

Em outro artigo publicado este ano no *Journal of Applied Physics*, Volpati e seus colaboradores apresentaram uma possível evolução desse material. Os pesquisadores conseguiram substituir a matriz rígida do polímero por uma feita de cristal líquido. Diferentemente das moléculas de polímero, que não se movem, as moléculas do cristal líquido se movimentam sob a influência dos pulsos elétricos emitidos pelo algoritmo evolutivo. “Os cristais líquidos alteram a orientação espacial dos nanotubos, mudando permanentemente as propriedades do material”, explica Volpati. “Mostramos também que, uma vez que orientamos os nanotubos na direção que queremos, eles não se mexem mais e o material não perde o treino.” Atualmente os pesquisadores tentam usar os nanotubos imersos no cristal líquido para realizar operações matemáticas. ■

Projetos

1. Avaliação espectroscópica da orientação molecular no volume e nas interfaces de filmes finos orgânicos depositados sobre diferentes superfícies (nº 2012/09905-3); **Modalidade** Bolsa de Pós-doutorado; **Pesquisador responsável** Osvaldo Novais de Oliveira Junior (IFSC-USP); **Bolsista** Diogo Volpati; **Investimento** R\$ 168.972,87 (FAPESP).
2. Controle molecular em filmes nanoestruturados de nanotubos de carbono (nº 2013/08864-4); **Modalidade** Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior – Pós-doutorado; **Pesquisador responsável** Osvaldo Novais de Oliveira Junior (IFSC-USP); **Bolsista** Diogo Volpati; **Investimento** R\$ 202.700,20 (FAPESP).

Artigos científicos

MASSEY, M. K. *et al.* Computing with carbon nanotubes: Optimization of threshold logic gates using disordered nanotube/polymer composites. *Journal of Applied Physics*. v. 117, n. 13. 6 abr. 2015.

VOLPATI, D. *et al.* Exploring the alignment of carbon nanotubes dispersed in a liquid crystal matrix using coplanar electrodes. *Journal of Applied Physics*. v. 117, n. 12. 24 mar. 2015.