



>
FÍSICA

Bandoneón atômico

Projeto financiado pela FAPESP ajuda a desvendar o comportamento de nanoestruturas

RICARDO ZORZETTO

Maleável:
como um fole,
nanotubo,
abaixo, estica
sem se romper

Interessado em desvendar como a natureza funciona em seu nível mais íntimo – a escala dos átomos, os blocos formadores da matéria –, o físico argentino Daniel Ugarte teve de fazer mais do que planejar seus experimentos. Preciso aprender a montar e a ajustar os microscópios superpotentes que utiliza e até mesmo a projetar os edifícios do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) que abrigam esses aparelhos, sensíveis a sutis vibrações no solo causadas pela passagem dos carros na rua. Em pouco mais de 15 anos no Brasil, Ugarte publicou uma série de descobertas fundamentais para a compreensão de como a matéria se comporta nessa escala tão reduzida e para o desenvolvimento da eletrônica do futuro. O mais recente desses achados, descrito em janeiro na *Nature Nanotechnology*, é a identificação de uma estrutura atômica totalmente inesperada: um tubo quadrado com menos de 0,5 nanômetro (milionésimos de milímetro) de espessura, a menor estrutura tridimensional oca formada pela prata, o mesmo material usado na confecção de joias e moedas há milhares de anos.

A descoberta de que a prata naturalmente assume esse formato é mais um caso de sucesso do mais completo laboratório de microscopia eletrônica do país, que Ugarte começou a montar em 1998 no LNLS. Hoje integrado ao Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes – construído com R\$ 6 milhões

da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e inaugurado em março de 2008 –, o Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) tem seis salas de alto desempenho, que ocupam 600 metros quadrados, e cinco poderosos microscópios adquiridos a um custo de R\$ 8 milhões financiados pela FAPESP.

São três microscópios eletrônicos de transmissão, destinados a analisar o arranjo atômico dos materiais em diferentes níveis de resolução, e dois microscópios eletrônicos de varredura, que produzem imagens tridimensionais. De todos, o mais poderoso é o microscópio de transmissão analítica, comprado em 2005 e em fase final de instalação, capaz de identificar os elementos químicos componentes do material estudado. Em dez anos de atividade, completados neste mês, o laboratório recebeu cerca de 400 pesquisadores de diferentes instituições, ali treinados para usar esses microscópios e fazer as medições de que necessitavam, e gerou centenas de artigos científicos.

No experimento que revelou o novo formato de nanotubo, Ugarte e o físico peruano Maureen Lagos, aluno de doutorado de Ugarte na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), colocaram uma finíssima lâmina de prata, com dezenas de átomos de espessura e milhares de largura, em um microscópio de transmissão de alta resolução. Esse microscópio gera imagens ampliadas milhões de vezes, o suficiente para discernir os átomos. Em seguida, os físicos bombardearam a folha de prata com feixes de elétrons (partículas de carga elétrica negativa), expulsando milhares de átomos e deixando-a como um queijo suíço. Ao esburacar a folha, eles esculpiram bastões ultramicros-

cópicos que, ao ficar com oito átomos de espessura, começavam a se alongar espontaneamente até romper, como um chiclete puxado pelas extremidades.

Como o estiramento completo ocorre em poucos segundos – e os átomos não estão imóveis, ainda que resfriados a 150 graus negativos –, Ugarte e Lagos, com a ajuda dos físicos Jefferson Bettini e Varlei Rodrigues, filmaram a transformação dos bastões para analisá-la quadro a quadro. À medida que o metal espichava e afinava na região central, seus átomos se reorganizavam até formarem um fio de um átomo de espessura e arrebentam. Entre a forma de bastão e a de colar de pérolas, os físicos de Campinas viram surgir a menor estrutura tridimensional e oca que a prata consegue assumir: um tubo cuja base era formada por quatro átomos.

Tensões e giros - Não foi fácil identificar essa estrutura. As imagens em duas dimensões mostravam só o perfil do tubo: sequências de dois átomos, intercaladas por outros três, que se empilhavam como bolas de gude. Como sabiam que os átomos de prata tendem a se organizar com uma estrutura tridimensional em forma de cubo, os físicos logo imaginaram que onde enxergavam dois átomos deveria haver quatro. “Dois estavam ocultos”, explica Ugarte.

O problema era saber quantos existiam nas camadas em que enxergavam três átomos. Inicialmente Ugarte e Lagos pensaram que elas também ocultassem outros dois – e essa camada contivesse um total de cinco, como sugeriam outros modelos. Se isso de fato ocorresse, o miolo do tubo seria maciço, em vez de oco. Reavaliando as distâncias entre os átomos, Ugarte e Lagos concluíram que havia algum erro. Na realidade, as camadas com três átomos também continham quatro, só um a mais do que haviam imaginado. Essas camadas apareciam com três átomos porque haviam girado 45 graus sobre o eixo central, encobrendo um deles. “Sabíamos o que havia ocorrido, mas não entendíamos o porquê”, conta o físico argentino.

Com base nessas informações, os físicos Douglas Galvão e Fernando Sato, ambos da Unicamp, criaram um programa de computador que simula o movimento dos átomos e as forças que os mantêm unidos. Concluíram que

> OS PROJETOS

1. Centro de microscopia eletrônica de alta resolução.
2. Analytical transmission electron microscope for spectroscopic nanocharacterization of materials.
3. Manutenção e reparo de equipamentos.
4. Bolsas de mestrado e doutorado.

MODALIDADE

1. Programa Infraestrutura 3
2. Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa
3. Reparo de Equipamentos
4. Bolsa de mestrado e doutorado

COORDENADOR

DANIEL UGARTE - Unicamp e LNLS

INVESTIMENTO

1. R\$ 2.621.484,09 (FAPESP)
2. R\$ 5.241.219,61 (FAPESP)
3. R\$ 189.298,06 (FAPESP)
4. R\$ 602.737,95 (FAPESP)

os nanotubos ocos surgiam quando o bastão de prata era submetido a tensões elevadas e a distância entre os átomos de uma das fileiras diminuía ligeiramente enquanto os da fileira seguinte giravam 45 graus, alongando a estrutura como o fole de uma sanfona que enche de ar – ou, como prefere Ugarte, um *bando-neón*, acordeão usado pelos conjuntos de tango. Nesse alongamento, o nanotubo oco alcançou um comprimento quase duas vezes maior do que o bastão tinha inicialmente. “Esperamos que essas estruturas se formem também em fios de cobre, que devem constituir os condutores elétricos nos nanocircuitos do futuro”, diz Ugarte. Caso se formem, os nanoarames de cobre devem ganhar elasticidade e resistência. “Conhecer como essas estruturas se deformam”, comenta Ugarte, “é essencial para entender duas propriedades fundamentais para a manipulação de nanomateriais ainda pouco conhecidas: o atrito e a adesão”.

> Artigo científico

LAGOS, M.J. *et al.* Observation of the smallest metal nanotube with a square cross-section. **Nature Nanotechnology**. www.nature.com/nnano

FERNANDO SATO/UNICAMP

