

# A microscopia do novo milênio

Desde o século 17, quando o microscópio óptico foi inventado, até meados do século 20, quando surgiram novos tipos desses equipamentos, era impossível a visualização de objetos de dimensões menores que alguns milésimos de milímetros. Porém, a invenção dos microscópios de varredura por sonda abriu o caminho para a realização, em escala nanoscópica e tridimensional, de um velho sonho do cientista: a visualização de átomos e moléculas.



**No início da década de 1980**, o físico alemão Gerd Binnig e o físico suíço Heinrich Rohrer estudavam as forças que agiam entre elétrons da superfície de um metal e uma ponta metálica nos laboratórios da empresa IBM, em Zurique (Suíça). A pesquisa, inicialmente voltada ao estudo das interações da matéria, iria se transformar em um dos aparelhos mais fantásticos que existem atualmente: o microscópio de varredura, que, pouco depois, daria origem a uma grande família de equipamento semelhantes, todos usados para observar objetos em escala atômica.

Neste artigo, iremos nos deter a um dos mais versáteis integrantes dessa família: o microscópio de força atômica – mais conhecido pela sigla, em inglês, AFM. Seu princípio de funcionamento é muito simples, e sua melhor propriedade – >>>

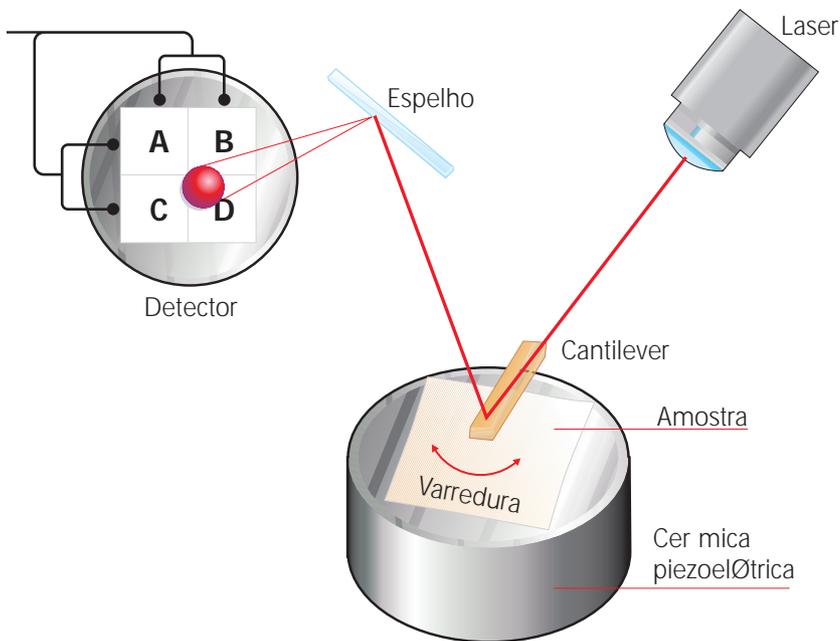


Figura 1. Esquema de um microscópio de força atômica. Enquanto o cantilever varre a amostra, apoiada sobre uma cerâmica, a luz do laser, que incide sobre ele, é refletida para um espelho que a leva até um detector, que mede as deflexões do braço e envia as informações para um computador, que as transforma em imagem.

não compartilhada com nenhum outro aparelho de observação nessa escala – é a visão dos objetos em três dimensões.

O AFM é composto basicamente por uma ponta (ou sonda) que varre a superfície da amostra em estudo. Assim, mede-se a força de interação entre os átomos da ponta e os da superfície, e os resultados são transformados em imagens da amostra, com a ajuda de recursos computacionais.

**ATRAÇÃO E REPULSÃO.** São várias as forças envolvidas nessa varredura, mas fundamentalmente resumem-se a dois tipos: as de atração e as de repulsão. As primeiras, chamadas forças de van der Waals, cuja origem é química, atuam a distâncias que variam de 100 nanômetros a algumas unidades dessa escala – um nanômetro equivale a um bilionésimo de metro, ou seja,  $10^{-9}$  metro. Já as forças repulsivas agem quando a ponta entra em contato com a superfície e têm sua origem no princípio de exclusão de Pauli, nome dado em homenagem ao físico austríaco Wolfgang Pauli (1900-1958), Nobel de física de 1945 – em termos práticos, esse princípio impede que dois corpos ocupem o mesmo lugar no espaço.

Um esquema simplificado do microscópio AFM é mostrado na figura 1, onde vemos uma amostra – apoiada sobre uma cerâmica especial (piezoelétrica) que serve para posicioná-la –, cuja superfície é percorrida por uma ponteira suportada por um braço de apoio, chamado *cantilever*. Nesse braço, incide a luz de um laser, que se reflete na superfície do cantilever, vai para um espelho e finalmente alcança um fotodetector de quatro seções.

**REVESTIMENTOS E PELÍCULAS.** O fotodetector mede as deflexões do braço causadas pelas rugosidades da amostra quando ela é varrida pela ponteira. Os resultados dessas medidas são transferidos para um computador que, utilizando um *software* especificamente feito para isso,

transforma a informação em uma imagem da superfície. Um exemplo é mostrado na figura 2, onde temos a imagem de um filme de grafite obtida em nosso laboratório.

São inúmeras as aplicações que decorrem desse tipo de pesquisa. Investigar a superfície de uma amostra resulta no conhecimento de propriedades chamadas tribológicas, como rugosidade, dureza, rigidez, elasticidade, atrito, entre outras, que serão usadas na indústria, por exemplo, para obter revestimentos de alto impacto, películas protetoras, etc.

**BACTÉRIAS MAGNÉTICAS.** Mas a utilidade de um AFM não pára por aí. Com pequenas modificações introduzidas no microscópio de força atômica, é possível estudar cargas superficiais, domínios elétricos e magnéticos e muitas outras propriedades. Ou seja: é possível fazer pesquisa básica em materiais (ver também nesta edição 'O impacto dos materiais avançados'). Na figura 3, vemos uma imagem de uma bactéria magnética que tem cristais de

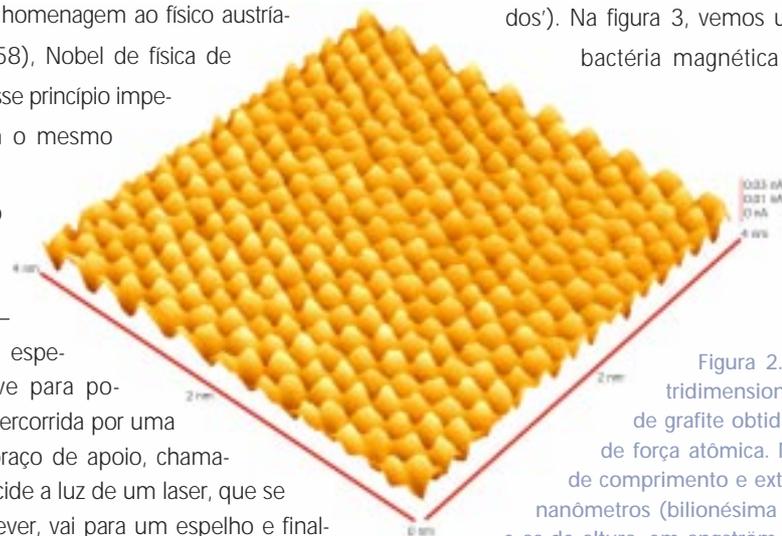


Figura 2. Imagem tridimensional de um filme de grafite obtida com microscópio de força atômica. Na figura, as medidas de comprimento e extensão estão em nanômetros (bilionésima parte do metro) e as de altura, em angström ( $1\text{\AA}$  equivale a um décimo de bilionésimo de metro).

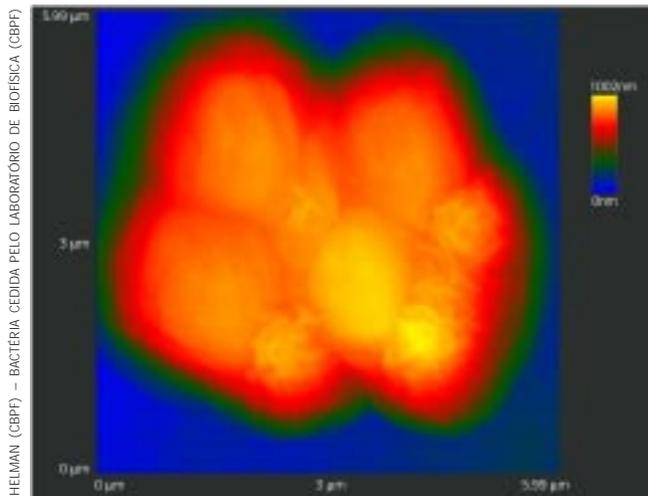


Figura 3. Imagem de bactéria magnética feita com microscopia de varredura. O microrganismo – no caso, multicelular – usa os ímãs (cristais de magnetita) em seu interior para orientar seu movimento segundo o campo magnético da Terra. As medidas estão em micrômetros ( $\mu\text{m}$ , milionésimo de metro) e em nanômetros (nm, bilionésimo de metro).

magnetita em seu interior, o que lhe permite se orientar e se movimentar segundo o campo magnético terrestre.

A grande família de microscópios de varredura, conhecida como SPM (sigla, em inglês, para microscópio de ponta de prova), é conhecida também como família de sonda de campo próximo, pois, em todas as suas variações, utiliza uma ponteira – para varrer a superfície a ser pesquisada – que permanece muito próxima ou em contato com a superfície. Isto permite a obtenção de imagens com resoluções que chegam, no plano da superfície, a um décimo de bilio-

nésimo de metro (ou  $1 \text{ \AA}$ ) e a  $10 \text{ \AA}$ , na direção perpendicular ao plano da amostra.

Com certeza, naquele início da década de 1980, Rohrer e Binnig não imaginavam que, ao investigar as forças entre superfícies e pontas afiadíssimas, estariam criando a microscopia do novo milênio, ao chegarem aos princípios básicos do STM, que se consagrou como o pai de toda uma família de novos microscópios. Em 1986, receberam o Nobel de física por sua invenção. ■

## EQUIPE CENTRA FORÇAS EM NOVO MICROSCÓPIO

O Laboratório de Nanoscopia Jorge S. Helman, do CBPF, possui um microscópio de força atômica, que, como já dissemos, permite a visualização dos objetos em três dimensões.

Com pequenas modificações introduzidas no AFM, é possível estudar, por exemplo, cargas superficiais, domínios elétricos e magnéticos, bem como fazer pesquisa básica em materiais. Outro tipo de modificação – a substituição da ponteira normalmente usada, de nitreto de silício ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), por uma de fibra óptica, construída em nosso laboratório – permite que esse equipamento seja também usado para estudar propriedades ópticas da amostra.

Através da fibra, passa-se um feixe de luz que incide sobre a superfície estudada. As ponteiros de fibra óptica são afinadas na extremidade, o que per-

mite que elas sejam usadas simultaneamente como sondas para varrer a superfície e como coletoras da luz para o estudo de centros de cor de uma amostra.

As vantagens desse tipo de equipamento são muitas. Pela forma com que opera, não produz danos na superfície, o que possibilita a repetição da experiência tantas vezes quantas forem necessárias. A preparação das amostras a serem estudadas é simples, bastando uma boa limpeza para que não haja problemas com a varredura.

Nos estudos feitos em nosso laboratório, não é necessário o uso de vácuo. É preciso apenas ar puro ou atmosfera de gás argônio, bem como pouca umidade e um local silencioso, para que vibrações espúrias não interfiram nas medidas realizadas.



Sentado: José Gomes Filho; em pé (esq. para dir.): Aníbal Omar Caride, Valéria B. Nunes e Susana I. Zanette

Inaugurado em 14 de abril de 1998, nosso laboratório ao longo destes anos tem se dedicado a várias linhas de pesquisa envolvendo microscopia de varredura. Atualmente, estamos desenvolvendo a construção de um outro integrante da família SPM: o microscópio óptico de varredura de campo próximo (SNOM), que é uma combinação de um SPM com um microscópio óptico convencional.

Mais informações sobre o Laboratório de Nanoscopia Jorge S. Helman no endereço [www.nanos.cbpf.br](http://www.nanos.cbpf.br), onde há apostilha atualizada e relação de trabalhos feitos.