



Uma nova revolução tecnológica está em curso. Trata-se da nanociência e da nanotecnologia, áreas com vasta gama de aplicações, que vão da produção de alimentos e fármacos capazes de melhorar a qualidade de vida das populações à criação de materiais com propriedades inusitadas e computadores ultravelozes baseados em fenômenos atômicos. Por essas razões, essas áreas são consideradas estratégicas para o desenvolvimento do país pelo Ministério da Ciência e Tecnologia.

A nanociência e a nanotecnologia são intrinsecamente multidisciplinares. Os projetos nessas áreas são freqüentemente desenvolvidos por laboratórios e grupos de pesquisa estruturados em redes, o que estimula a integração das instituições e soma esforços e competências.

O objetivo deste folder é iniciar o público não especializado nesse fascinante campo de pesquisa. Para isso, o leitor encontrará aqui – além de um panorama mundial e brasileiro – uma breve descrição das pesquisas desenvolvidas nessas áreas no CBPF.

Esta publicação também dá prosseguimento às atividades de divulgação científica realizadas pelo CBPF. É uma forma de retribuir à sociedade o apoio que nossa instituição recebe através de verbas públicas. Também esperamos que este folder sirva para despertar vocações, mostrando a jovens estudantes um campo promissor que se descortina e que certamente precisará de novos pesquisadores.

Finalmente, reiteramos um convite: o leitor que quiser saber mais sobre as pesquisas desenvolvidas no CBPF poderá fazê-lo através da leitura de nossa publicação de divulgação científica, *CBPF – Na Vanguarda da Pesquisa**.

João dos Anjos
DIRETOR DO CBPF

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Roberto Amaral

SECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA
Carlos Alberto da Silva Lima

DIRETOR DO CBPF
João dos Anjos

EDITORES CIENTÍFICOS
João dos Anjos
Henrique Lins e Barros

REDAÇÃO E EDIÇÃO
Cássio Leite Vieira

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
Ampersand Comunicação Gráfica
(ampersand@ampersanddesign.com.br)

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290-180 - Rio de Janeiro - RJ
Tel: (0xx21) 2141-7100
Fax: (0xx21) 2141-7400
Internet: <http://www.cbpf.br>

* Para receber gratuitamente pelo correio um exemplar deste folder, envie pedido com seu nome e endereço para iva@cbpf.br. Este e outro folder (*12 Desafios da Física para o Século 21*), bem como a revista *CBPF – Na Vanguarda da Pesquisa*, estão disponíveis para download (em formato .PDF) em <http://www.cbpf.br/Publicacoes.html>

Agradecimentos aos seguintes entrevistados:
Alberto Passos Guimarães (CBPF), Alexandre Rossi (CBPF), Cylon Gonçalves da Silva (LNLS), Elisa Baggio Saitovitch (CBPF), Fernando Galembeck (Unicamp), Henrique Lins de Barros (CBPF), Luiz Sampaio (CBPF), Marcelo Knobel (Unicamp), Susana Zanette (CBPF)



Nanociência e Nanotecnologia

Modelando o futuro
átomo por átomo



CBPF

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas



Ministério da Ciência e Tecnologia

Sumário

DOMANDO A MATÉRIA

Estrutura fragmentada
Mais espaço lá embaixo
Viagem Fantástica

O NANOUNIVERSO

Do átomo ao vírus
Mais que miniaturizar
Modelos na natureza
Não só imitar

FEITOS E PROMESSAS

Marco experimental
Futurologia
Em larga escala

NO MUNDO

Bilhões por ano
Nova educação

NO BRASIL

Em rede
Programa nacional
Instituto do Milênio
Dosímetro e língua
Rio virtual

NO CBPF

Nanoscopia
De cabeças a sensores
Fábricas biológicas
Modelos: ossos e dentes
Filmes finos

FUTURO INEVITÁVEL

Fontes

COMCIÊNCIA – NANOCIÊNCIA & NANOTECNOLOGIA, coletânea de ensaios e reportagens (vários autores) – www.comciencia.br/reportagens/framesreport.htm

EUREKALERT IN CONTEXT – NANOTECHNOLOGY – coletânea de ensaios (vários autores) – www.eurekalert.org

NANOSCALE SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY – RESEARCH DIRECTIONS – www.er.doe.gov/production/bes/nanoscale.html

CIÊNCIA HOJE, vol. 33, n. 193 (maio de 2003) – Entrevista de Cylon Gonçalves da Silva a Vera Rita Costa

CBPF – NA VANGUARDA DA PESQUISA, Cássio Leite Vieira (ed.), Rio de Janeiro, CBPF, 2001

NANOTECHNOLOGY IS BIG AT NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – www.nist.gov/public_affairs/nanotech.htm

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE – www.nano.gov

FORESIGHT INSTITUTE – www foresight.org

NANODOT – www.nanodot.org

SUGESTÕES PARA LEITURA PODEM SER ENCONTRADAS EM <http://www.cbpf.br/nano>

Nanociência e Nanotecnologia
Modelando o futuro átomo por átomo

DOMANDO A MATÉRIA

Manipular a matéria é uma habilidade específica do ser humano. Através de seu incessante domínio sobre a natureza, o homem subjugou a pedra, a argila, o ferro, o aço e, mais recentemente, o silício dos chips de computadores, transformando essas substâncias, entre tantas outras, em produtos. A escavação mais profunda, rumo à escala atômica, só começaria no final do século 19, quando se extraiu da matéria sua primeira partícula elementar, o elétron.

ESTRUTURA FRAGMENTADA. No século passado, a matéria foi fragmentada ao extremo. E os estilhões, capturados, estudados e batizados. Prótons, nêutrons, mésons, neutrinos, quarks, bósons integram uma lista que inclui centenas de partículas. Assim, o *Homo sapiens*, centenas de milhares de anos após seu surgimento, praticamente finalizou sua viagem rumo ao coração da matéria – mesmo antes de conhecer detalhes do interior do planeta que o abriga.

MAIS ESPAÇO LÁ EMBAIXO. Mas, ainda em 1959, o físico norte-americano Richard Feynman (1918-1988) – que, por sinal, havia trabalhado por um ano no CBPF – propôs uma nova relação do homem com a matéria: usar seus tijolos (átomos e moléculas) para a construção de diminutos artefatos. Hoje, a palestra ‘Há muito mais espaço lá embaixo’ é tida como o marco de fundação de duas áreas: a nanociência e a nanotecnologia. Porém, nanopartículas já eram empregadas na Renascença para obtenção de cores vívidas em louças. Para Feynman, essa ciência e engenharia liliputianas não violariam nenhuma lei da física.

VIAGEM FANTÁSTICA. As idéias de Feynman chamaram a atenção de seus colegas – pouco depois da palestra, um motor com 0,38 milímetro de diâmetro foi apresentado a Feynman como resposta a um desafio proposto por ele. Já a imaginação popular em relação às possibilidades do microuniverso começou a ser capturada em meados da década de 1960, com o lançamento de *Viagem Fantástica*, de Isaac Asimov (1920-1992), em que nave e tripulação são miniaturizados e injetados no corpo de um cientista. Objetivo da missão: destruir um coágulo sanguíneo e salvar a vida do paciente. O livro tornou-se um clássico da ficção científica e fonte de inspiração para uma geração.



CALTECH ARCHIVES

NATIONAL GALLERY OF ART

O NANOUNIVERSO

Há várias definições para nanociência e nanotecnologia. Em uma delas, lê-se que essas áreas englobam projeto, manipulação, produção e montagem no nível atômico e molecular, ou seja, na escala do bilionésimo de metro (ou nanômetro). O conjunto de técnicas usadas para isso vem – e virá – da integração da física, química, biologia, das engenharias e da modelagem computacional.

DO ÁTOMO AO VÍRUS. A bilionésima parte é representada pelo prefixo nano (‘anão’, em grego) ou matematicamente por 10^{-9} (0,00000001). As dimensões típicas da nanociência e da nanotecnologia vão de 0,1 nanômetro (0,1nm) a 100 nanômetros (100 nm), ou seja, do tamanho de um átomo até o de um vírus. Por exemplo, um fio de cabelo humano tem cerca de 30 mil nm.

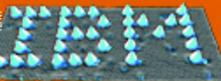
MAIS QUE MINIATURIZAR. A nanociência e a nanotecnologia prometem tornar as coisas menores, mais rápidas, mais fortes, menos poluentes e mais eficientes. Porém, isso não deve ser confundido com miniaturizar o que já foi inventado. O cerne dessas áreas está em entender e domar o comportamento da matéria na escala nanométrica. Sabe-se que as propriedades macroscópicas e nanoscópicas da matéria muitas vezes diferem diametralmente, a ponto de o comportamento nessas duas escalas ser oposto – o que repele pode passar a atrair, por exemplo.

MODELOS NA NATUREZA. Os processos biológicos são fonte de inspiração para os pesquisadores dessas áreas. Razão: nos últimos milhões de anos, a evolução tem sido a grande nanoartesã, ao arrancar, capturar, colocar ou deslocar átomos com extrema precisão – técnica que o homem só aprendeu há poucas décadas.

NÃO SÓ IMITAR. A natureza produz equipamentos de extrema engenhosidade. Por exemplo, flagelos de bactérias são nanomotores que funcionam alimentados com prótons. Moléculas de energia (ATP) são fabricadas em máquinas moleculares. O DNA (código genético) é um ‘disco rígido’ que armazena as informações de um indivíduo. No entanto, não se trata apenas de imitar. Os especialistas terão que descobrir novas funções para mecanismos biológicos. Tarefa mais árdua: desenvolver técnicas para reproduzir em escala industrial – ou seja, com precisão e qualidade – o que foi inventado no laboratório.

FEITOS E PROMESSAS

Para muitos, a ciência e a tecnologia do bilionésimo de metro já é a próxima revolução tecnológica da humanidade, tendo como candidato a principal matéria-prima o elemento químico carbono, que forma materiais tão díspares quanto o carvão e o diamante. Nessa nova era, a fonte de energia seria a solar.



IBM

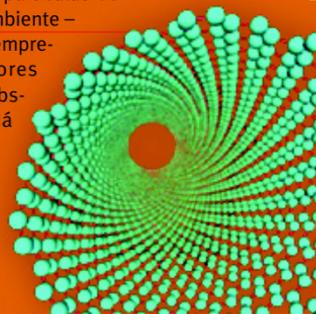
MARCO EXPERIMENTAL.

Trinta anos depois da palestra de Feynman, a nanotecnologia obteve um grande feito experimental: cientistas da IBM escreveram o nome da empresa sobre uma placa de níquel, usando 35 átomos de xenônio. De lá para cá, esse tipo de ‘Lego nanoscópico’ tornou-se uma técnica comum, mas as três letras tornaram-se um marco e um forte indício de que o mundo nanoscópico poderia ser (re)modelado.

FUTUROLOGIA. É comum que toda jovem revolução tecnológica venha acompanhada tanto de entusiasmo quanto de uma lista de promessas. A nanotecnologia não é exceção. Exemplos: • computadores capazes de calcular, em segundos, tarefas que levariam bilhões de anos para a mais avançada dessas máquinas de hoje; • materiais mais leves e resistentes para a construção de casas, edifícios, navios, aviões e espaçonaves; • nanochips para monitorar as condições do interior do corpo humano; • anticorpos sintéticos capazes de atacar e destruir vírus, bactérias ou células cancerosas; • nanoímãs que, guiados por um campo magnético externo, seriam levados a qualquer parte do corpo humano carre-

gando medicamentos; • componentes eletrônicos formados por uma única molécula; • telas de TV dobráveis; • tecidos para roupas que poderiam mudar de cor, endurecer ou se auto-regenerar; • nanorrobôs para desobstruir vasos sanguíneos; • moléculas capazes de se auto-replicarem, como as biológicas – apesar de muitos não acreditarem nesta última possibilidade.

EM LARGA ESCALA. Esqueça os tão divulgados robôzinhos e engrenagens. Eles são apenas miniaturizações de máquinas clássicas e, mesmo assim, não saíram dos laboratórios. Hoje, em larga escala, só estão sendo produzidas nanopartículas – já usadas em cosméticos, tintas, revestimentos, aços e como absorvedoras de partículas de mau cheiro do ambiente – e os nanotubos, empregados em sensores para gases e substâncias tóxicas. Há algo em torno de 500 fábricas desses produtos no planeta.

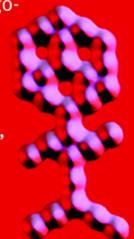


HIRO LABO, OREU

NO MUNDO. Estima-se que, na próxima década, a produção industrial global em nanotecnologia atinja US\$ 1 trilhão. O número de empregos nessa área chegaria a 2 milhões. Setores como a indústria de semicondutores serão totalmente dependentes de técnicas e produtos da nanotecnologia. O impacto dessas novas tecnologias seria elevado também na indústria química e farmacêutica.

BILHÕES POR ANO. Recursos parecem escoar com facilidade para a nanociência e a nanotecnologia. Este ano, os Estados Unidos, através da Iniciativa Nacional em Nanotecnologia, pretendem destinar cerca de US\$ 700 milhões. O Reino Unido aprovou US\$ 150 milhões para os próximos seis anos, esperando que a iniciativa privada injete quantia igual nesse período. Hoje, no mundo, o total de recursos governamentais e privados aplicados deve ficar por volta dos US\$ 6 bilhões/ano.

NOVA EDUCAÇÃO. Estados Unidos, Comunidade Européia, Coreia e Canadá já lançaram programas educacionais para formar os nanocientistas e nanotecnólogos do futuro. Uma das ações é remodelar currículos, dos primeiros anos escolares às universidades. Revoluções tecnológicas trazem embutidas uma regra simples: quem se adaptar primeiro sairá na frente e conquistará mais mercados.



PETER ZEPHENDEL E DONALD EIGER/IBM

NO BRASIL. De longe, a infra-estrutura do Brasil é a melhor da América Latina quando se trata de nanociência e nanotecnologia – o México, talvez, seja o segundo colocado. Hoje, estima-se que cerca de mil pesquisadores – entre eles, 300 doutores – se dediquem à pesquisa nessas áreas, organizados em redes e em um instituto.

EM REDE. Como resultado de levantamento feito em 2000 pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, foram formadas quatro grandes redes nacionais: • Rede de Materiais Nanoestruturados; • Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces; • Rede de Pesquisa em Nanotecnologia; • Rede Cooperativa para a Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados. Ano passado, as redes produziram cerca de mil artigos e 20 pedidos de patentes. **PROGRAMA NACIONAL.** O investimento inicial (2002) nas quatro redes foi de R\$ 3 milhões, sendo que, este ano, elas poderão receber outros R\$ 4,75 milhões. Um programa nacional estabelecerá objeti-

vos, metas, diretrizes e estratégias e será instituído como parte do Plano Plurianual 2004-2007 do governo federal.

INSTITUTO DO MILÊNIO. Aprovado em janeiro de 2002, o Instituto de Nanociência – um dos 17 Institutos do Milênio, programa do Ministério da Ciência e Tecnologia – reúne 21 instituições e cerca de 70 pesquisadores Sua ênfase são os materiais nanoestruturados, ou seja, formados por camadas nanométricas de átomos ou moléculas.

DOSÍMETRO E LÍNGUA. Produtos que empregam matérias-primas nanoscópicas já estão surgindo no Brasil. Dois exemplos: um dosímetro pessoal para a radiação ultravioleta solar, fabricado pela empresa Ponto Quântico, em Recife (PE). Outro é a ‘Língua Eletrônica’, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e capaz de detectar sabores (doce, salgado, amargo e azedo).

RIO VIRTUAL. A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro (Faperj) deu início ao Instituto Virtual de Nanociência e Nano-



EMBRAER INSTRUMENTAÇÃO AERONÁUTICA

tecnologia, que deverá reunir cerca de 20 grupos do estado, distribuídos em seis redes: • Nanoestruturas Magnéticas; • Dispositivos à Base de Materiais Nanoestruturados; • Catálise e Fenômenos de Superfície; • Nanoestruturas Biológicas e Biocompatíveis; • Nanopartículas e Nanocompósitos; • Materiais Nanoestruturados à Base de Carbono.

NO CBPF. O CBPF tem tido uma participação crescente em nanociência e nanotecnologia. Suas linhas de pesquisa abrangem desde o estudo de fenômenos e propriedades intrínsecos à matéria na escala nanoscópica até o desenvolvimento e a análise de matérias-primas em parceria com empresas privadas.

NANOSCOPIA. Como ser macroscópico, o homem sempre precisará de uma interface para lidar com a escala atômica. Talvez, o aparelho que melhor cumpre essa função seja o microscópio de força atômica, capaz de perscrutar a matéria a distâncias menores que 10 nanômetros – o que equivale a uma fila de cem átomos de hidrogênio. Isso é feito com uma ponteira finíssima, que se movimenta sobre a superfície das amostras e traz informações sobre o ‘relevo’ atômico.

Com a ajuda desse equipamento, os pesquisadores do Laboratório de Nanoscopia ‘Jorge S. Helman’ do CBPF, inaugurado em 1998, estudam, por exemplo, as chamadas cerâmicas piezelétricas para entender como se formam e se desenvolvem os domínios ferroelétricos nos nanogrãos desses materiais, visando ao seu uso nas chamadas memórias não voláteis de computadores, em componentes eletrônicos (capacitores) e sensores (do tipo piroelétrico).

Propriedades tribológicas da matéria são outra área de interesse do Laboratório de Nanoscopia. O microscópio de força atômica permite estudar rugosidade, atrito e dureza de filmes finos de carbono, que são empregados no revestimento de disquetes e discos rígidos.

DE CABEÇAS A SENSORES. Receita para uma nanopartícula promissora: pegue mil átomos de um material magnético – cobalto, por exemplo – e os coloque dentro de um ‘invólucro’ (ou matriz) de cobre. Está formado um nanoímã, com 10 nanômetros de diâmetro, que poderá revolucionar as chamadas cabeças leitoras, responsáveis por capturar os dados gravados em fitas cassete, de vídeo ou nos discos rígidos dos computadores.

Além dos nanoímãs, os pesquisadores do Laboratório de Magnetismo do CBPF também se

dedicam ao estudo e à preparação do que talvez sejam os detectores mais sensíveis desenvolvidos pela ciência: os SQUIDS. Submicroscópicos, eles são capazes de detectar a presença de campos magnéticos extremamente fracos. Esse tipo de ferramenta é essencial para a nanotecnologia, pois pode revelar efeitos magnéticos que surgem na escala atômica e molecular. Na medicina, esses microssores já estão sendo empregados para entender e medir a atividade elétrica do coração, por exemplo. O LabMag vem trabalhando no estudo de propriedades magnéticas, magnetoópticas e de transporte elétrico de estruturas magnéticas tão diminutas quanto os nanoímãs.

FÁBRICAS BIOLÓGICAS. Em termos de eficiência e engenhosidade, a natureza bate de longe a criatividade humana. É nela que estão, por exemplo, os melhores produtores de nanoímãs da natureza. Essas nanofábricas funcionam dentro de seres vivos, como microrganismos e insetos sociais – por exemplo, formigas, abelhas ou cupins. O Grupo de Biofísica do CBPF dedica-se a detectar e identificar esses biomateriais magnéticos e a estudar suas propriedades físicas. Nanociência na sua forma mais pura, mas com a qual a nanotecnologia terá que aprender, pois terá que fabricar nanopartículas com eficiência e precisão.

Essas diminutas fábricas vivas, controladas pelo código genético, produzem ímãs de até 200 nanômetros de comprimento, mas que podem formar cadeias lineares ou aglomerados desde uma dezena até mais de um milhão de cristais. Microrganismos multicelulares descobertos pelo Grupo de Biofísica, por exemplo, chegam a formar matrizes planares com até 100 desses monocristais. Nos insetos, suspeita-se que esses nanoímãs biológicos estejam próximos às antenas e que sua função primordial seja a orientação.

MODELOS: OSSOS E DENTES. A ciência, de certa forma, sempre buscou modelos na natureza. Porém, imitar materiais biológicos nem sempre é tarefa fácil. No entanto, esse desafio está sendo levado adiante pelo Laboratório de Materiais Biocerâmicos do CBPF. Entre os materiais estudados, está a hidroxiapatita (HAP), que é o componente básico dos tecidos calcificados (osso e dentes).

Seu equivalente sintético – preparado no próprio LMB – é hoje um dos mais importantes substitutos para o osso humano em transplantes e próteses. Os nanocristais de HAP – com cerca de 100 nanômetros – têm também alta capacidade de absorver moléculas, o que faz deles candidatos perfeitos para várias tarefas: ‘carregadores’ de drogas para o tratamento do câncer ósseo; absorvedores de metais pesados (chumbo, cádmio, zinco, cobre etc.) presentes em rejeitos industriais ou em águas contaminadas; ‘aceleradores’ (catalisadores) da decomposição de poluentes industriais.

O uso médico, ambiental ou industrial da HAP depende do tamanho dos nanocristais que a formam – quanto menores, melhores são as propriedades absorvedoras. O LMB já produz grãos menores que 10 nanômetros, o que faz com que cada grama dessas nanopartículas tenha área de contato com outras substâncias equivalente a 200 metros quadrados.

FILMES FINOS. Assim como o ferro foi a matéria-prima da revolução industrial, é bem provável que os chamados filmes finos tenham um papel semelhante na nanotecnologia. Uma diferença, porém: o ferro é feito pela natureza; os filmes são literalmente montados pelo homem, camada a camada, cujas espessuras podem ser tão diminutas quanto o diâmetro atômico (0,1 nanômetro). Isso é feito no Laboratório de Filmes Finos, ligado ao Grupo de Materiais Avançados do CBPF, com o auxílio de técnicas sofisticadas (evaporação em ultra-alto vácuo e deposição por *sputtering*), capazes de combinar, de forma controlada, átomos de dois metais diferentes. Produzem-se, desse modo, nanopartículas, filmes finos com duas ou mais camadas, bem como super-redes. As propriedades (magnéticas e de transporte) dessas estruturas são a base de sua aplicação tecnológica.

O modo pelo qual os átomos e as moléculas se organizam determina as propriedades da matéria (mecânicas, elétricas, ópticas, magnéticas etc.). Assim, controlar essa organização permite fazer uma matéria ‘sob encomenda’, bem como estudar novas propriedades que surgem quando se misturam, por exemplo, metais magnéticos com os não magnéticos no mesmo filme.

FUTURO INEVITÁVEL

Depois da agricultura, indústria, microeletrônica, a nova revolução tecnológica já tem nome: nanotecnologia. E, se valer a regra geral, ela terá um impacto social superior ao de suas antecessoras. Para evitar os erros que levaram aos debates (intermináveis) sobre alimentos geneticamente modificados, desde já especialistas, empresas e organizações não governamentais discutem as implicações ambientais – e mesmo éticas – dessas novas áreas.

Os otimistas dizem que a nanotecnologia será o passo final do controle do homem sobre a natureza. É arriscado falar sobre o futuro, mas tudo indica que a nanociência e a nanotecnologia serão parte inevitável dele. E essa revolução já começou.

NANODIX