

**U**ma nova revolução tecnológica está em curso. Trata-se da nanociência e da nanotecnologia, áreas com vastas aplicações que vão da produção de alimentos e fármacos à criação de computadores diminutos e ultravelozes. Por isso, ambas 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 apresentar para o público não especializado esse fascinante campo de pesquisa. Assim, o leitor encontrará aqui um panorama mundial e brasileiro dos avanços dessas duas áreas.

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

*João dos Anjos*

COORDENADOR DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA

PRESIDENTE DA REPÚBLICA  
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Sérgio Machado Rezende

SECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DE UNIDADES DE PESQUISA  
Avílio Antônio Franco

DIRETOR DO CBPF  
Ricardo Magnus Osório Galvão

EDITORES CIENTÍFICOS (por ordem alfabética do prenome)  
Ernesto Kemp (Instituto de Física Gleb Wataghin/  
Universidade Estadual de Campinas)  
Henrique Lins de Barros (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)  
João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)  
Marcelo Knobel (Instituto de Física Gleb Wataghin/  
Universidade Estadual de Campinas)  
Sandra Murriello (Museu Exploratório de Ciências de Campinas/  
Universidade Estadual de Campinas)

REDAÇÃO E EDIÇÃO  
Cássio Leite Vieira

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO  
Ampersand Comunicação Gráfica (ampersand@amperdesign.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 [ncs\\_cbpf@cbpf.br](mailto:ncs_cbpf@cbpf.br). Este e outros folders estão disponíveis (em formato PDF) em <http://www.cbpf.br/desafiosdafisica>

Agradecimentos: Alberto Passos Guimarães (CBPF), Alexandre Rossi (CBPF), Cylon Gonçalves da Silva (LNLS), Elisa Baggio Saitovitch (CBPF), Ernesto Kemp (Unicamp), Fernando Galembeck (Unicamp), Luiz Sampaio (CBPF), Marcelo Knobel (Unicamp), Sandra Murriello (Museu Exploratório de Ciências / Unicamp), Susana Zanette (CBPF).



Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

# Nanociência e Nanotecnologia

## Modelando o futuro átomo por átomo

## Sumário

### DOMANDO A MATÉRIA

Escavação profunda  
Estrutura fragmentada  
Mais espaço lá embaixo  
Viagem Fantástica

### O NANOUNIVERSO

Na escala do bilionésimo  
Do átomo ao vírus  
Mais que miniaturizar  
Modelos na natureza  
Não só imitar

### FEITOS E PROMESSAS

Principal candidato  
Marco experimental  
Lista de promessas  
Em larga escala

### NO MUNDO

Impacto global  
Nova educação

### NO BRASIL

Melhor infra-estrutura  
Diversidade de temas  
Em rede  
Capacidade bem sólida  
Produção nacional

### AVENTURA NANOSCÓPICA

Exposição interativa  
Jogos, vídeos, efeitos, música...  
Por todo o Brasil

### COMO SERÁ O FUTURO?

A revolução começou

## Fontes

ComCiência – nanociência & nanotecnologia, coletânea de ensaios e reportagens (vários autores) - [www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm](http://www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm)

EUREKALERT IN CONTEXT – NANOTECHNOLOGY - coletânea de ensaios (vários autores) - [www.eurekalert.org/context.php?context=nano](http://www.eurekalert.org/context.php?context=nano)

NANOSCALE SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY – RESEARCH DIRECTIONS - [www.er.doe.gov/production/bes/nanoscale.html](http://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

NANOTECHNOLOGY IS BIG AT NIST - NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - [www.nist.gov/public\\_affairs/nanotech.htm](http://www.nist.gov/public_affairs/nanotech.htm)

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE – [www.nano.gov](http://www.nano.gov)

FORESIGHT INSTITUTE – [www foresight.org](http://www foresight.org)

NANODOT – [www.nanodot.org](http://www.nanodot.org)

Nanociência e Nanotecnologia  
Modelando o futuro átomo por átomo

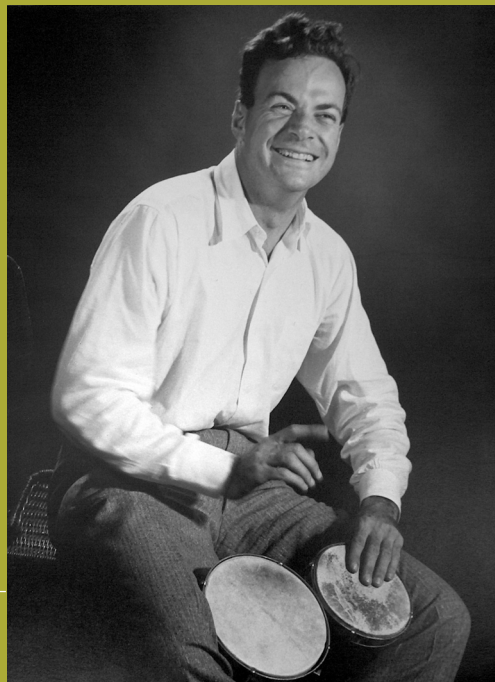


# DOMANDO A MATÉRIA

**ESCAVAÇÃO PROFUNDA** • O homem subjugou a pedra, a argila, o ferro, o aço e, mais recentemente, o silício dos chips de computadores, transformando estas substâncias, entre tantas outras, em matérias-primas. Mas, só no século 19, ele iniciou sua escavação profunda rumo à escala atômica, quando extraiu da matéria sua primeira partícula elementar, o elétron.

**ESTRUTURA FRAGMENTADA** • No século passado, a matéria foi imensamente fragmentada, e os estilhaços foram capturados, estudados e batizados. Prótons, nêutrons, mésons, neutrinos, quarks, bósons integram uma lista que inclui centenas de partículas. Assim, *Homo sapiens*, quase 200 mil anos depois de seu surgimento, aprofundou sua viagem rumo ao coração da matéria – e isso mesmo antes de conhecer detalhes do interior do planeta que o abriga.

**MAIS ESPAÇO LÁ EMBAIXO** • Ainda em 1959, o físico norte-americano **Richard Feynman** (1918-1988) – que, por sinal, havia trabalhado pouco antes no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas,



TOM HANSEN

no Rio de Janeiro (RJ) –, propôs, através da palestra ‘Há muito mais espaço lá embaixo’, uma nova relação do homem com a matéria: usar átomos e moléculas como tijolos para a construção de diminutos artefatos. Hoje, essas idéias de Feynman são tidas como o marco de fundação de duas áreas: a nanociência e a nanotecnologia.

**VIAGEM FANTÁSTICA** • Como resposta a um desafio proposto por Feynman, foi construído um motor com 0,38 milímetro de diâmetro. Nessa época, a imaginação popular em relação às possibilidades da escala atômica começou a ser capturada com o lançamento do livro *Viagem Fantástica*, de Isaac Asimov (1920-1992), em que uma nave e sua tripulação são miniaturizadas e injetadas no corpo de um cientista. Objetivo da missão: destruir um coágulo sanguíneo e salvar a vida do paciente. Essa obra tornou-se um clássico da ficção científica e fonte de inspiração para uma geração.



CALTECH ARCHIVES

# O NANOUNIVERSO

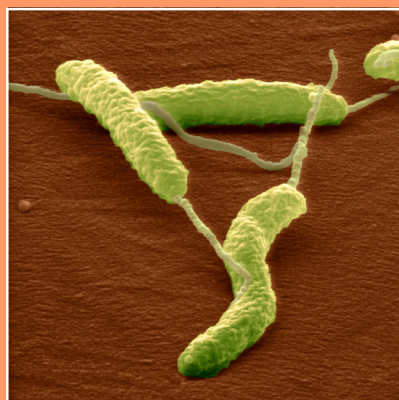
**NA ESCALA DO BILIONÉSIMO** • Há várias definições para nanociência e nanotecnologia, mas basicamente essas áreas lidam com o projeto, a manipulação, a produção e a montagem no nível atômico e molecular, ou seja, na escala do bilionésimo de metro (ou nanômetro). O conjunto de técnicas usadas para isso vem (e virá) da integração da física, química, biologia, das engenharias e da modelagem computacional.

**DO ÁTOMO AO VÍRUS** • O bilionésimo é representado 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 (0,1 nm) a 100 nanômetros (100 nm), ou seja, do tamanho de um átomo até o de um vírus. Para se ter uma idéia de comparação, 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 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, pois se sabe que as propriedades macroscópicas e nanoscópicas da matéria muitas vezes diferem diametralmente, a ponto de o comportamento nessas duas escalas ser oposto – por exemplo, o que repele passa a atrair.

**MODELOS NA NATUREZA** • Os processos biológicos

são fonte de inspiração para os pesquisadores da nanociência e da nanotecnologia. 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, com o advento de microscópios especiais capazes de funcionar como guindastes para o mundo atômico.



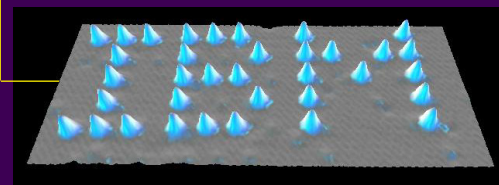
WWW.MOJUELLA.MPG.DE

**NÃO SÓ IMITAR** • A natureza produz equipamentos de extrema engenhosidade. Por exemplo, flagelos de bactérias são nanomotores que funcionam alimentados com prótons. O DNA (material genético) é um ‘disco rígido’ que armazena as informações de um indivíduo. Mas não se trata apenas de imitar esses feitos, mas, em muitos casos, será necessário aperfeiçoar os mecanismos biológicos conhecidos, para dar novas funções aos inventos. Tarefa mais árdua ainda: desenvolver técnicas para reproduzir em escala industrial (ou seja, com precisão e controle de qualidade) o que for desenvolvido no laboratório.

# FEITOS E PROMESSAS

**PRINCIPAL CANDIDATO** • Para muitos especialistas, a ciência e a tecnologia do bilionésimo de metro será 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.

**MARCO EXPERIMENTAL** • Em 1989, 30 anos depois da palestra de Feynman, a nanotecnologia obteve um grande feito experimental: cientistas da IBM escreveram o nome dessa empresa norte-americana sobre uma placa de níquel, usando 35 átomos de xenônio. De lá para cá, esse tipo de ‘Lego nanoscópico’ tornou-se uma técnica comum, demonstrando que o mundo nanoscópico poderia ser (re)modelado.



IBM

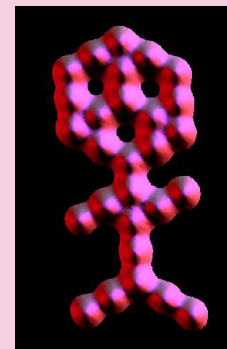
**LISTA DE PROMESSAS** • É comum que toda jovem revolução tecnológica venha acompanhada tanto de entusiasmo quanto de uma lista de promessas. A nanotecnologia não é exceção. Alguns itens dessa lista: • computadores capazes de calcular, em segundos, tarefas que levariam bilhões de anos para a mais avançada 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 cancerígenas; • nanoímãs que, guiados por um campo magnético externo, seriam levados a qualquer parte do corpo humano, carregando 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.

**EM LARGA ESCALA** • Hoje, em larga escala, estão sendo produzidas nanopartículas (empregadas na fabricação de cosméticos, tintas, revestimentos, aços, absorvedores de odores etc.) e nanotubos, usados em sensores para gases e substâncias tóxicas. Em 2003, havia algo em torno de 500 fábricas desses produtos no planeta.

# NO MUNDO

**IMPACTO GLOBAL** • 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 passariam a ser totalmente dependentes de técnicas e produtos da nanotecnologia. O impacto dessas novas tecnologias seria elevado também no ramo químico e farmacêutico. Hoje, estima-se que o total de recursos governamentais e privados aplicados nessas áreas atinjam a casa dos US\$ 5 bilhões por ano.

**NOVA EDUCAÇÃO** • Os Estados Unidos, a Comunidade Européia, a Coreia do Sul e o 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 embutida uma regra: quem se adaptar primeiro sairá na frente e conquistará mais mercados.



PETER ZEPPENEID E DONALD EISEN/IBM

# NO BRASIL

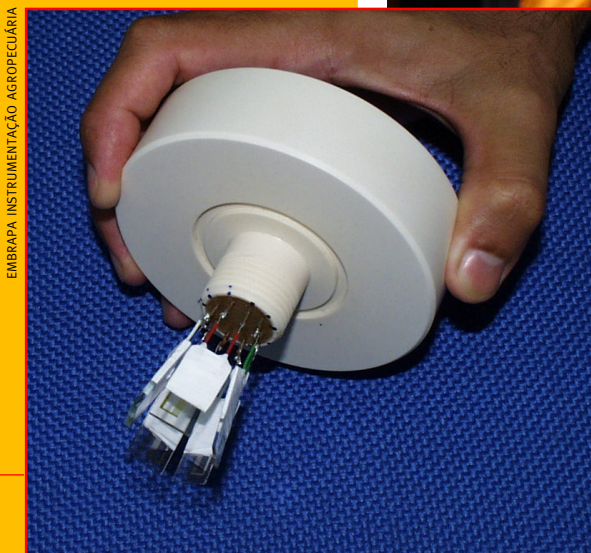
**MELHOR INFRA-ESTRUTURA** • De longe, a infra-estrutura do Brasil é a melhor da América Latina quando se trata de nanociência e nanotecnologia. Hoje, estima-se que haja cerca de mil pesquisadores trabalhando nessas áreas. E também há uma experiência educativa em andamento, na forma de uma exibição itinerante que aborda os conceitos básicos da nanociência e da nanotecnologia (ver ‘NanoAventura’).

**DIVERSIDADE DE TEMAS** • As pesquisas em nanociência e nanotecnologia no Brasil englobam grande diversidade de temas: nanobiotecnologia, química supramolecular, nanomagnetismo, semicondutores, nanoobjetos (em particular, nanotubos de carbono), sensores, instrumentação e teoria. Essas pesquisas envolvem equipes multidisciplinares e a necessidade de colaborações entre elas. Há diversos pólos que se destacam nessas pesquisas: o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro (RJ), o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, em Campinas (SP), a Universidade Estadual de Campinas (SP), a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal de São Carlos (SP), a Universidade Federal de Minas Gerais, a Universidade Federal de Pernambuco, a Universidade Federal de Santa Catarina, a Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**EM REDE** • As diversas áreas e instituições têm se organizado em redes temáticas para realizar pesquisas de ponta em nanociência e nanotecnologia: • 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.

**CAPACIDADE BEM SÓLIDA** • Além dessas redes nacionais, há diversos grupos autônomos de pesquisa atuando nessas áreas, bem como projetos específicos (financiados pelas agências estaduais de fomento científico) e os de grande escala, como o Instituto do Milênio de Nanotecnologia. Aprovado em janeiro de 2002 e reunindo cerca de 100 pesquisadores de 30 instituições, esse instituto virtual tem como ênfase os chamados materiais nanoestruturados (ou seja, formados por camadas nanométricas de átomos ou moléculas). Há também projetos individuais e redes menores no âmbito de colaborações nacionais e internacionais. Em resumo: há uma capacidade científica bem sólida instalada no Brasil nessas duas áreas.

**PRODUÇÃO NACIONAL** • 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), e a ‘língua eletrônica’, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, é capaz de detectar sabores (doce, salgado, amargo e azedo).



EMBAPA INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA

# AVENTURA NANOSCÓPICA

**EXPOSIÇÃO INTERATIVA** • A NanoAventura ([www.nanoaventura.org.br](http://www.nanoaventura.org.br)) é uma exposição interativa de envolvimento para atrair o interesse do público infantil e adolescente para a nanociência e a nanotecnologia. Trata-se da primeira exposição organizada pelo Museu Exploratório de Ciências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e foi realizada em parceria com o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), com apoio da Fundação Vítas e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

**JOGOS, VÍDEOS, EFEITOS, MÚSICA...** • Noções básicas do nanomundo, como o conceito de escala e medida, bem como a observação e a manipulação

de átomos e moléculas, são apresentadas através de diversas técnicas de comunicação e imersão. A proposta é que os visitantes da NanoAventura vivenciem uma experiência lúdica e educativa que integra elementos reais e virtuais e que combina jogos eletrônicos, vídeos, projeções 3D, performances, efeitos especiais e músicas.

**POR TODO O BRASIL** • Preparada para ser itinerante, a NanoAventura foi inaugurada em abril de 2005 e, em seu primeiro ano de funcionamento, já esteve em Campinas (SP), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ) e de Porto Alegre (RS), sendo visitada por dezenas de milhares pessoas. A NanoAventura pretende viajar por todo o Brasil.



# COMO SERÁ O FUTURO?

**A REVOLUÇÃO COMEÇOU** • Depois da agricultura, indústria e microeletrônica, a próxima revolução tecnológica já tem nome: nanotecnologia. E se espera que ela tenha um impacto social superior ao de suas antecessoras. Desde já, especialistas, empresas e organizações não governamentais discutem as implicações sócio-ambientais – e mesmo éticas – dessa nova área. É arriscado falar sobre o futuro, mas tudo indica que a nanociência e a nanotecnologia serão parte dele. E essa revolução já começou.