

# O limiar de uma n

*É um mundo fantástico: uma minúscula dose de nanopartículas pode transformar a química e a natureza das coisas*

Por Tânia Mendes

No próximo ano, a previsão do físico estadunidense Richard Feynman (1918-1988) completará cinco décadas. No dia 29 de dezembro de 1959, ele anunciava, em palestra no *Californian Institute of Technology - CalTec* (EUA), intitulada *There's plenty of room at the bottom* que, em futuro não muito distante, os engenheiros poderiam inserir átomos onde bem entendessem, desde que, é claro, não fossem violadas as leis da natureza. E garantia ser possível condensar, na cabeça de um alfinete, as páginas dos 24 volumes da Enciclopédia Britânica. Nascia ali mais uma nova etapa no desenvolvimento científicotecnológico mundial. Pela primeira vez anunciava-se que poderiam, ser criados novos materiais e novos produtos e processos baseados na crescente capacidade da tecnologia moderna de

“  
Nanociência trata da estrutura básica da matéria. Nanotecnologia é a utilização da Nanociência para diferentes aplicações”

ver e manipular átomos e moléculas. Aquela palestra tornou-se emblemática para o nascimento de dois novos paradigmas do século XXI: a Nanociência e a Nanotecnologia.

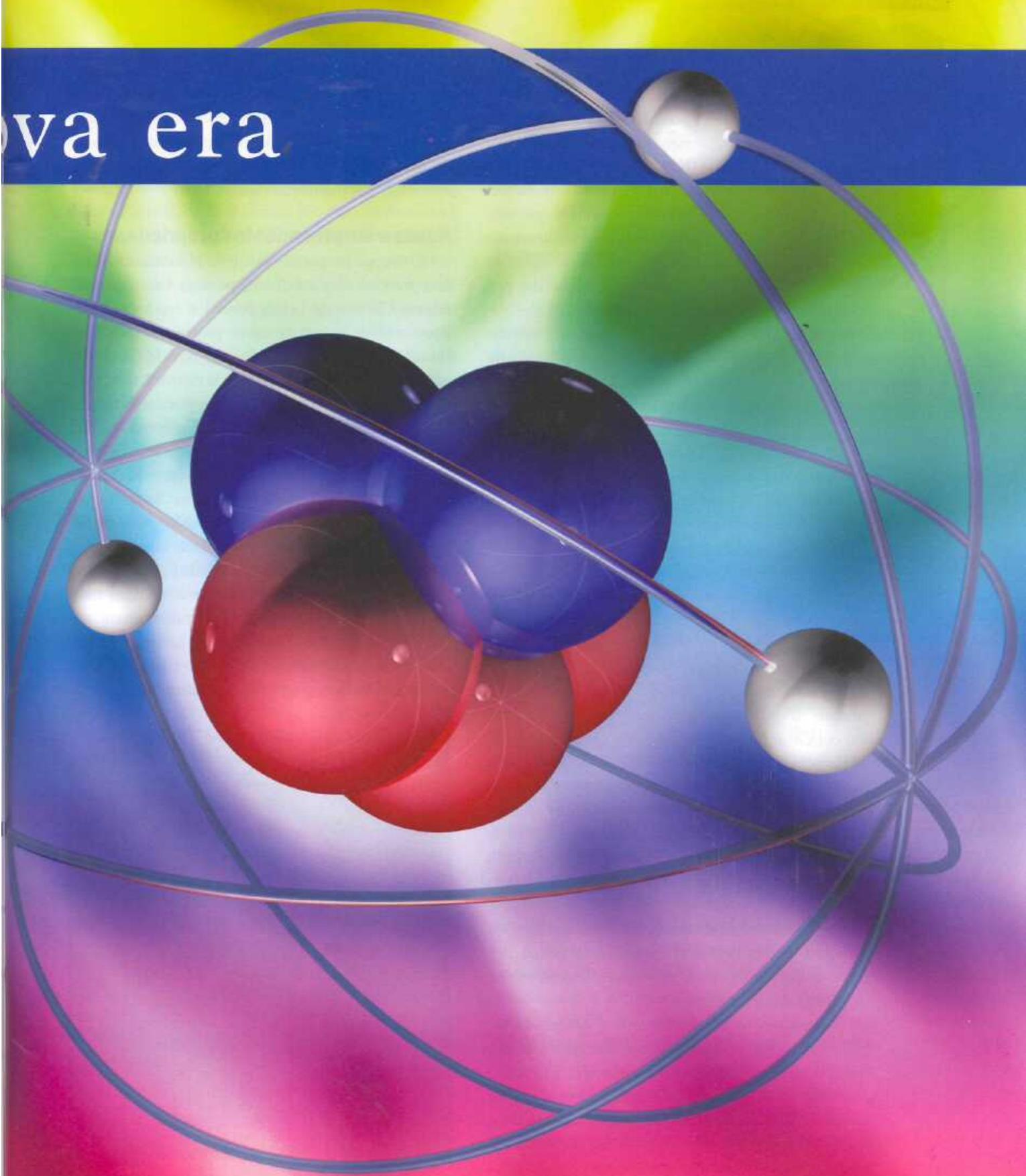
"Nanociência e Nanotecnologia não são sinônimos", apressa-se a esclarecer o doutor em Física do estado sólido, Paulo César Morais, formado em Química e professor titular do

Instituto de Física da Universidade de Brasília (UnB). "A Nanociência trata da estrutura básica da matéria. Por esse conceito, este campo científico pode até ser algo muito antigo - pois há pelo menos um século cientistas perscrutam a estrutura da matéria. Mas a Nanotecnologia é um conceito novo. Em resumo, trata-se da utilização da Nanociência para diferentes aplicações", completa ele. Ambas as áreas visam, respectivamente, a compreensão e o controle da matéria em escala nanométrica. Ou seja, se dividirmos um metro em um bilhão de partes, cada uma terá o tamanho equivalente a um nanômetro. Um átomo mede cerca de dois décimos de um nanômetro e o diâmetro de um fio de cabelo humano mede cerca de 30.000 nanômetros.

Outro especialista, Cauê Ribeiro de Oliveira, mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais, doutor em Química e pesquisador da Empresa Brasileira Agropecuária (Embrapa Instrumentação Agropecuária), explica que "apesar de se ter, frequentemente, uma imagem muito futurista da Nanotecnologia, sua definição acaba sendo muito simples. 'Nano' é uma referência ao nanômetro (nm), que corresponde a um milionésimo de milímetro", Para entender melhor, o pesquisador diz que esta escala é especial porque está muito próxima da dimensão das ligações químicas e implica que materiais, dispositivos ou sistemas com dimensões nesta



ova era





“

*O impacto social,  
econômico e  
ambiental da  
Nanotecnologia  
já começa a ser  
detectado*

”

escala tenham propriedades intermediárias às de compostos moleculares e materiais de grande dimensão. Numa definição mais formal, um produto nanotecnológico é aquele que tem pelo menos uma dimensão abaixo de 100 nm, e alguma propriedade definida por essa dimensão.

O professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Mario Baibich, coordenador da área de Nanotecnologia do

Ministério da Ciência e Tecnologia, Ph.D em Física, simplifica este conceito: "Chamamos de Nanotecnologia a todas as coisas produzidas que tenham dimensões nanométricas e que, em conseqüência dessa dimensão reduzida, tenham suas propriedades alteradas. Assim, um dos princípios que impulsionam a Nanotecnologia é que, nesta escala, as partículas de elementos químicos comportam-se de forma muito diferente em relação às mesmas substâncias em tamanho normal". Em 1988, Baibich passou um "ano sabático" (Pós-Doc para pesquisadores com experiência) em Orsay, França, nos laboratórios da Université de Paris-Sud. Durante esse período participou de um trabalho cujo resultado foi importantíssimo: a equipe descobriu a Magnetorresistência Gigante em múltiplas magnéticas. O efeito da descoberta está por trás de aplicações amplamente disseminadas no mundo científico e tecnológico - como o princípio básico para o funcionamento de leitores de gravação em discos rígidos para computadores. Essa pesquisa recebeu o Prêmio Nobel de Física de 2007, na pessoa dos chefes dos laboratórios (Álbert Fert, da França, e Peter Grünberg, da Alemanha).

O impacto social, econômico e ambiental da Nanotecnologia já começa a ser detectado. Mario Baibich explica: "Tornemos um exemplo prático. O disco rígido. A partir da utilização de sensores de GMR - Magnetorresistência Gigante, a capacidade dos discos aumentou de maneira exponencial e os preços caíram. Como conseqüência todo o conjunto de dispositivos ligados ao computador baixou de preço, e hoje qualquer lojinha pode usar um com-

putador, muitas casas se equiparam e as escolas passaram a dispor de mais computadores para o ensino. Como resultado, a mentalidade da sociedade em geral mudou, e hoje dependemos cada vez mais desses aparelhos - mesmo que não sejam visíveis, eles estão nas máquinas registradoras".

### Novas e surpreendentes propriedades

O avanço proporcionado pela Nanotecnologia já está presente no dia-a-dia das pessoas. Exemplos não faltam. Cremes de beleza baseados em formulação lipossomal de estrutura nano, protetores solares fabricados com nanopartículas de dióxido de titânio ou de óxido de zinco. A indústria eletrônica do mais alto nível, por exemplo, já incorpora a Nanotecnologia em muito de seus produtos, como o *iPod*, *pen drive*, feitos de circuitos impressos cuja resolução da trilha é polimérica. Além disso, já existem até mesmo tratamentos de cabelo baseado em nanoqueratinização. Utilizando a Nanotecnologia, materiais familiares como a prata e ouro revelam novas e surpreendentes propriedades. Alguns transmitem luz ou eletricidade, outros se tornam mais duros do que diamantes ou se transformam em potentes catalisadores químicos. "É um mundo fantástico: uma minúscula dose de nanopartículas pode transformar a química e a natureza de coisas



Foto: Karen Rukat

Paulo César Moraes: A variedade de produtos derivados da Nanotecnologia é espantosa

muito maiores, criando de plásticos reforçados a combustíveis supereficientes", entusiasma-se o professor Paulo César Morais.

Eletrônica, produtos têxteis, cosméticos, fármacos, polímeros e muitos outros setores estão sendo beneficiados pela Nanotecnologia. "Para cada caso, uma propriedade é ressaltada. No caso da eletrônica são os sensores magnéticos e os dispositivos capazes de distinguir o *spin* do elétron, para o setor têxtil, são os tecidos com propriedades hidrofóbicas ou de autolimpeza. Os cosméticos - alguns já estão no mercado - poderão se beneficiar de partículas tão minúsculas que podem penetrar mais fundo na pele, em tratamentos realmente funcionais, ou protetores solares mais eficazes. No caso de fármacos, as nanopartículas são capazes de conduzir moléculas do medicamento até a região onde deve ser absorvido pelo corpo, evitando efeitos colaterais. No caso dos polímeros existe toda uma carga de nanopartículas ou nanotubos de carbono capazes de melhorar as propriedades mecânicas e elétricas dos mesmos", enumera Baibich. E observa: "A manipulação da matéria na escala nanométrica, num bilionésimo de metro, já está proporcionando um grande avanço no mundo dos negócios".

O impacto econômico desta nova tecnologia iniciou uma massificação da produção transformando o disco rígido em *commodity*. O que mudou, inclusive, a forma de se realizarem negócios e a penetração do produto na sociedade. E começa também, evidentemente, a mudar as exigências na formação profissional do Administrador, que terá de entender do tema ao gerir uma empresa neste ramo. Quanto às restrições do impacto ambiental, Baibich considera que pode vir de aplicações como partículas nanoscópicas para pigmentos ou fármacos, "mas essas indústrias já estão preparadas para controlar os rejeitos desde antes de começarem com a Nanotecnologia. É claro que tudo isso deve ser controlado pela sociedade para assegurar-se que não ocorra nenhum dano ou risco".

De qualquer modo, é absolutamente certo que a Nanotecnologia vai criar um cenário novo do ponto de vista industrial. Trará alterações necessárias nas questões de gestão e de comercialização e, portanto, exigirá modificação até do currículo das escolas de Administração de Empresas. "Uma empresa que vende produtos comuns se comporta de determinada forma no mercado. Mas no momento em que ela

tiver que lidar com produtos baseados em Nanotecnologia, isto vai exigir treinamentos específicos. É um processo em cascata, vai afetar as relações em todos os níveis", profetiza o pesquisador.

## Impacto profundo

Assim como o feito de Henry Ford na produção de automóveis em série e o advento da televisão, do avião e dos computadores revolucionaram o mundo no século passado, os cientistas não hesitam em dizer



que a Nanotecnologia terá um efeito ainda mais profundo sobre o século XXI. Recente pesquisa realizada pela UFRGS, junto à Rede Nanobiotech, que contou com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), mostra alguns destes impactos vieram à tona:

- Impactos econômicos: o surgimento de novas indústrias vai exigir investimentos em qualificação profissional e recursos em pesquisa e desenvolvimento (P&D); não irá oferecer, necessariamente, escala ilimitada de produção; não deve aumentar os gastos da população com planos de saúde e nem as despesas com tratamento de resíduos; e os produtos não devem ser mais caros.

- Impactos sociais: pode melhorar o nível da qualidade de vida da sociedade, mas ainda tem imagem negativa junto à população; mas tais produtos não devem causar danos à saúde humana.

Cauê Ribeiro:  
Qualquer tecnologia pode ser utilizada para impactos positivos ou negativos dependendo do usuário

“

*A ISO está tentando construir as regras de certificação para os produtos nanos*

”

- Impactos ambientais: os produtos baseados na Nanotecnologia irão auxiliar na redução da poluição; não deve ser poluente para o homem e para o meio ambiente; a consciência ambiental e ética dos pesquisadores tende a aumentar.

Não é fácil, ao menos por enquanto, medir impactos sociais, econômicos e ambientais, num campo tão vasto como a Nanotecnologia. Porém, como assinala o pesquisador Cauê Ribeiro, qualquer tecnologia pode ser utilizada para impactos positivos ou negativos dependendo do usuário. "Se

pensarmos no que vemos de concreto em Nanotecnologia, as nações que investem pesadamente em pesquisa - como é o caso da China e Estados Unidos - já estão colhendo novas opções de trabalho nas empresas nascentes", esclarece. Ele assinala que um dos impactos que poderá se tornar negativo está relacionado ao fato de que a entrada de novos produtos no mercado pode levar à obsolescência de antigos produtos, tendo como conseqüências negativas o fechamento de fábricas. "Os efeitos de uma nova tecnologia podem ainda levar à exploração de outros recursos naturais pela demanda de certas matérias-primas ou, por exemplo, por avanços na capacidade de exploração de um recurso, como o petróleo, por uma nova tecnologia. São riscos de qualquer desenvolvimento tecnológico. Ainda assim, os impactos estão mais associados às decisões humanas de como utilizar os benefícios do que propriamente às características de uma determinada tecnologia", ressalta ele.

### Regulamentação

As comunidades científica, empresarial e tecnológica estão empenhadas em descobrir e montar modelos de avaliação dos riscos para a saúde humana, saúde do trabalhador e meio ambiente, mas ainda não estão formulados programas preestabelecidos

para avaliar impactos da Nanotecnologia. "Estamos empenhados em construir este modelo. Como o tema é recente e inovador, a ISO que congrega mais de 150 países, inclusive o Brasil, está tentando construir as regras de certificação para os produtos nanos. Há um ano foi criado o Comitê TC 229, composto por 36 países para construir um protocolo de avaliação do impacto de nanomateriais", informa Paulo César. E como a variedade de produtos derivados da Nanotecnologia é espantosa, foi necessário selecionar áreas prioritárias. "Assim, foram escolhidas, dentre outras, as nanopartículas utilizadas, por exemplo, na indústria têxtil e de estética, que já estão no mercado", enfatiza. Para ele, ainda são desconhecidas as conseqüências do descarte de produtos como as roupas impregnadas com nanopartículas de prata, de efeito bactericida, utilizadas em salas de cirurgia, que naturalmente serão recolhidas no lixo hospitalar. "O que vai acontecer com o processo de tratamento deste resíduo? Qual será o impacto disso?", questiona o cientista. Ele cita também, como exemplo, o protetor solar produzido com nanopartículas de óxido de titânio

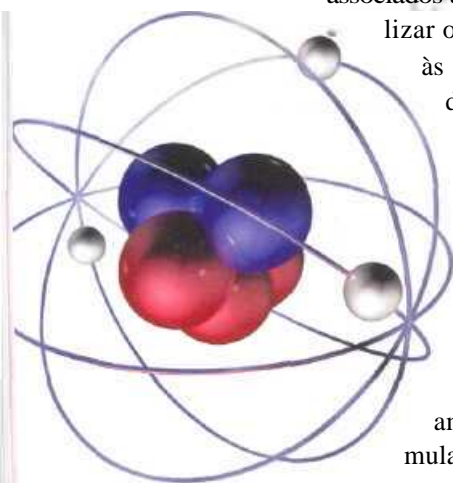
### O que é a ISO

A Internacional Standard Organization (ISO), é uma organização não governamental estabelecida em 1947, que tem como missão promover o desenvolvimento da standardização e das atividades com ela relacionadas no mundo com o objetivo de facilitar a troca de serviços e bens, e para promover a cooperação em nível intelectual, científico, tecnológico e econômico.

Todos os trabalhos realizados pela ISO resultam em acordos internacionais os quais são publicados como Modelos Internacionais.

ISO é uma palavra, derivada do grego "isos", que significa "igual", raiz do prefixo "iso", que aparece numa grande quantidade de termos.

A ISO justifica que os seus modelos são produzidos de acordo com os princípios do consenso, da aplicação global e do compromisso voluntário, ou seja, leva em conta pontos de vista de todos os interessados, as soluções têm caráter global e é baseada num compromisso voluntário de seus interessados.







Baibich: Precisamos da Nanotecnologia para agregar valor aos nossos produtos

de zinco. "Essas nanopartículas penetram na pele e eventualmente podem cair na nossa circulação. Qual o impacto disso daqui a dez ou vinte anos? Temos que construir modelos de testes e protocolos de utilização desses materiais".

Não há ainda consenso sobre como deve ser feita a regulamentação de produtos nano e muitos dos passos neste sentido têm efeito mais relacionado a controle de mercado do que propriamente à segurança dos usuários. Segundo Cauê Ribeiro, há uma discussão internacional sobre a regulamentação que, inclusive, tem recebido contribuições de pesquisadores da Embrapa Instrumentação Agropecuária. A *U.S. Environmental Protection Agency* e a *American Bar Association* estabeleceram um grupo de trabalho para estudar os possíveis riscos associados à Nanotecnologia. Porém, em documento de 2006, a agência afirma explicitamente que "não se deve desencorajar o uso benéfico ao meio ambiente de nanomateriais" - mostrando que a preocupação de uma regulamentação puramente restritiva já existe.

## Investimentos

Por ser recente, com menos de uma década, os investimentos e as pesquisas em Nanociência e Nanotecnologia nos Estados Unidos, somando recursos privados e públicos, ainda não atingiram o volume de recursos como o ocorrido com o Projeto

## Doze desafios da Física para o século XXI

1. Massa de Neutrinos – O que muda no universo se os neutrinos tiverem massa?
2. Computador quântico – Quando o computador quântico será realidade?
3. A origem das massas – O que é a massa das partículas elementares?
4. Unificação das forças da natureza – Será possível unificar em uma só teoria as quatro forças da natureza?
5. Matéria escura – Onde estão 95% da matéria que forma o universo?
6. Energia escura – O que faz o universo se expandir de forma acelerada?
7. A biofísica das proteínas e do DNA – Como a física pode ajudar a desvendar os segredos do código genético humano?
8. Raios cósmicos de altas energias – O que são e de onde vêm os zévatrons?
9. Formação dos elementos pesados – Como e onde se formaram os elementos químicos mais pesados que o ferro?
10. Plasma de quarks-glúons – É possível recriar em laboratório as condições dos primeiros instantes do universo?
11. Ondas gravitacionais – Será possível confirmar as previsões de Einstein sobre ondas gravitacionais?
12. Manipulação de átomos e os novos materiais – O que é possível construir manipulando átomos individualmente?

Fonte: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT)

Genoma, por exemplo. Mas a expectativa para o futuro desses dois campos é que alcancem o mesmo sfátus, mesmo porque, com seu caráter interdisciplinar, engloba áreas do próprio Projeto Genoma. Por enquanto, a Nanotecnologia está sendo assimilada pela sociedade. A maioria dos experimentos ainda está em fase de testes, mas o tempo de amadurecimento para as aplicações práticas varia conforme a área de pesquisa. "No caso dos materiais para a pro-

“  
*A capacidade  
 científica  
 instalada no  
 Brasil é muito  
 maior que os  
 recursos  
 oferecidos*  
 ”

dução de polímeros, devem chegar ao mercado em um ou dois anos. Já a tecnologia de eletrônicos e de fármacos demora pelo menos mais cinco anos para obter aplicações práticas. E a Nanotecnologia molecular deve demorar pelo menos dez anos", avalia Alfredo de Souza Mendes, doutor em Tecnologia de Produtos Florestais, do Ministério da Ciência e Tecnologia.

Mas os dados sobre investimentos na área estão quase sempre desatualizados. A Lux Reseach informa que o investimento total em N&N foi da ordem de US\$ 8 bilhões em 2004, sendo que a maior parte destes recursos foi aplicado em pesquisa. "É importante notar que estes dados se referem a investimentos auto-intitulados, ou seja, situações nas quais o ator acadêmico/industrial define aquilo em que está investindo, a Nanotecnologia. Aqui acabam sendo negligenciados muitos investimentos em áreas que podem ser enquadradas como nanotecnológicas por puro desconhecimento", alerta Cauê Ribeiro.

Embora não se saiba exatamente o montante de investimentos do setor privado, o envolvimento de grandes corporações americanas, como a Xerox, IBM e a HP, e das megaempresas japonesas indica que as aplicações no setor privado são superiores às do setor público. Os maiores investidores em Nanotecnologia são o Japão e os Estados Unidos, que aplicaram, em 2007, US\$ 604 milhões. E a expansão da Nanotecnologia no mercado mundial tende a aumentar cada vez mais, impulsionada pela expectativa de grandes lucros em sua aplicação no setor produtivo. A organização norte-americana *National Science Foundation* prevê que o mercado de produtos que contenham Nanotecnologia podem alcançar US\$ 1 trilhão em 2015.

### N&N no Brasil

O nível de investimentos é bem modesto no Brasil, porém não é totalmente desmotivante, embora ainda que sejam maciçamente públicos. Dados da Agência Brasil indicam que o investimento público neste setor foi de R\$ 74 milhões em 2005 e 2006, e

deve ser da mesma ordem no biênio 2007-2008. "Se por um lado é um recurso extremamente escasso comparado ao investimento americano ou chinês, apenas o fato de o Governo Federal ter reconhecido a Nanotecnologia como área estratégica já é um grande avanço", assinala o pesquisador da Embrapa. Para o físico Paulo César Morais, é difícil avaliar os investimentos em termos absolutos. "O que posso dizer é que a capacidade científica instalada no Brasil é muito maior que os recursos oferecidos", salienta. Ele acha que o Brasil deu um passo importante no ano 2000 quando criou um programa para apoiar as redes brasileiras de Nanociência e Nanotecnologia. "Naquele momento o país disponibilizou recursos para apoiar quatro redes. A partir de 2005 o Ministério de Ciência e Tecnologia iniciou a fase II do programa para apoiar dez redes de N&N, que congregam cerca de 700 cientistas. Eu diria que entre cientistas e estudantes de pós-graduação essas redes têm mais de três mil colaboradores."

Em agosto de 2005 foi lançado pelo Presidente Luiz Inácio Lula da Silva e pelo ministro da Ciência e Tecnologia, Sérgio Rezende, o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN). O programa é composto por um conjunto de ações apoiadas com recursos orçamentários do PPA 2004-2007 e tem como objetivo atender as demandas estratégicas identificadas pela comunidade envolvida com o desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia e colocar em prática uma das medidas da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior.



Língua Eletrônica desenvolvida por cientistas da Embrapa

Foto: Arquivo Embrapa Instrumentação Agropecuária



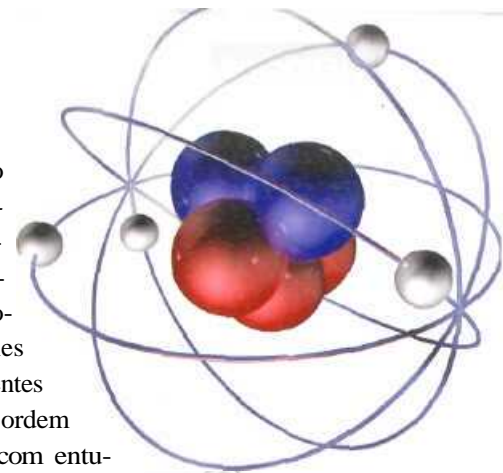
Algumas iniciativas públicas são bem-sucedidas: a Rede de Nanotecnologia para o Agronegócio, coordenada pelo Dr. Luiz Mattoso, da Embrapa Instrumentação Agropecuária é uma delas. A Língua Eletrônica desenvolvida por dentistas da Embrapa, formada por um conjunto de plásticos que conduzem eletricidade e que são sensíveis às substâncias responsáveis pelos diferentes tipos de paladar, é um exemplo de experiência de sucesso. Outras experiências também estão em curso, como no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNCC), de Campinas SP (veja o box abaixo), que desenvolve pesquisas em Nanotecnologia em parceria com empresas e os Centros de pesquisa, Inovação e Difusão (CEPIDs), financiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). "Desses, pelo menos três apresentam trabalhos avançados em Nanotecnologia, já com geração de empresas para comercialização das inovações, Estes grupos estão desenvolvendo ações para atrair investimentos privados, como o

### Luz síncrotron

Luz síncrotron é a intensa radiação eletromagnética produzida por elétrons de alta energia num acelerador de partículas. A luz síncrotron abrange uma ampla faixa do espectro eletromagnético: Raios-X, Luz Ultravioleta e Infravermelha, além da Luz Visível, que sensibiliza o olho humano, são emitidas pela fonte. É com esta luz que cientistas estão descobrindo novas propriedades físicas, químicas e biológicas existentes em átomos e moléculas; os componentes básicos de todos os materiais.

O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), instalado em Campinas, é o único deste gênero existente no Hemisfério Sul. O LNLS, em 1987, começou a realizar um ambicioso projeto: colocar o Brasil num seleto grupo de países capazes de produzir luz síncrotron. Este objetivo foi alcançado e, desde julho de 1997, centenas de pesquisadores, do Brasil e do Exterior, utilizam a fonte brasileira de luz síncrotron para fazer pesquisas que visam desbravar novas fronteiras de conhecimento sobre os átomos e as moléculas.

anunciado em novembro passado pela *Symetrix Corporation*, que pretende instalar no Brasil a primeira fábrica de semicondutores ferro-elétricos - basicamente filmes finos para memórias inteligentes - com um investimento da ordem de US\$ 1 bilhão", ressalta com entusiasmo o pesquisador da Embrapa.



### Não podemos perder este bonde

Para Cauê Ribeiro de Oliveira a Nanotecnologia é uma resposta aos esforços científicos na compreensão da matéria - a Nanociência - e o caminho natural de toda ciência é gerar tecnologia e, dela, riqueza, bem-estar e promoção humana. "Basta observar os avanços tecnológicos do Século XX, como por exemplo, a Mecânica Quântica, Destes esforços científicos que, para leigos não sugerem nada de prático, é que tivemos condições de desenvolver toda a microeletrônica, a óptica, transmissão digital de dados, entre outros tantos avanços tecnológicos, que nos parecem indispensáveis num mundo onde já existem mais telefones celulares que fixos. A Nanotecnologia é um dos herdeiros desta onda tecnológica, que desponta de forma cada vez mais clara", exemplifica. E acrescenta que, no caso brasileiro, o país vem sistematicamente perdendo as grandes ondas tecnológicas, aprofundando nossa dependência de tecnologias e manufaturados importados. "É certo que parte da onda nanotecnológica já passou pelo Brasil, porém há ainda um grande número de oportunidades não exploradas, principalmente na indústria química e agricultura, setores em que o país já se destaca há algum tempo. Principalmente nestas áreas é preciso continuar buscando a vanguarda tecnológica, incluindo-se aí a Nanotecnologia. Caso contrário, corremos o risco de retornar, mesmo nesses setores, a meros exportadores de matérias-primas brutas, adverte o cientista. Ao concordar com o colega, Baibích é direto: "O mundo e o Brasil já usam Nanotecnologia. Precisamos da Nanotecnologia para agregar valor aos nossos produtos. Temos que abandonar o modelo de exportadores de matéria-prima para passar a vender nosso *know-how*, o que vai aumentar nosso saldo em termos de benefícios para a sociedade".