**O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial**

O mundo encontra-se no limiar de uma nova revolução industrial, ou melhor, ele já está, de fato, mergulhado nela: trata-se, obviamente, da transformação radical dos processos e produtos de nossa atual civilização industrial por meio da aplicação do infinitamente pequeno às mais diferentes utilidades da vida diária. Essa revolução é bem mais importante, e mais desafiadora, do que aquelas que presidiram ao domínio do homem sobre as forças da natureza nas três revoluções anteriores ou etapas precedentes de progressos materiais e tecnológicos desta nossa civilização industrial.

Com efeito, a primeira revolução industrial, iniciada na Grã-Bretanha há pouco mais de dois séculos, assistiu à transformação da energia em força mecânica, sob a forma de caldeiras e máquinas a vapor, o que redundou, entre outros avanços materiais, no impulso dado às indústrias manufatureiras (com destaque para o setor têxtil) e aos transportes aquaviários e ferroviários. Ao mesmo tempo, começou a funcionar o primeiro instrumento verdadeiramente universal de comunicação quase instantânea, o telégrafo (ainda funcionando à base de fios e de cabos submarinos), que representou uma espécie de internet da era vitoriana. Já na segunda revolução industrial, um século após, o destaque ficou com a eletricidade e a química, resultando em novos tipos de motores (elétricos e à explosão), em novos materiais e processos inéditos de fabricação, paralelamente ao surgimento das grandes empresas (algumas vezes organizadas em cartéis), do telégrafo sem fio e, logo mais adiante, do rádio, difundindo instantaneamente a informação pelos ares. A terceira revolução industrial, nossa contemporânea por sua vez, mobilizou circuitos eletrônicos e, logo em seguida, os circuitos integrados, os famosos *microchips*, que transformaram irremediavelmente as formas de comunicação e de informação, com a explosão da internet e do comércio eletrônico e voltada crescentemente para o lazer.

A quarta revolução industrial, na qual estamos ingressando neste momento histórico, mobiliza, fundamentalmente, as ciências da vida, sob a forma da biotecnologia, bem como uma gama multidisciplinar de ciências exatas e cognitivas que responde pelo nome de nanociência. Esta, por sua vez, se confunde praticamente com suas materializações práticas, sob a forma da nanotecnologia. Desde várias décadas, senão há mais de um século, os cientistas tentam domar o infinitamente pequeno, plenamente conscientes de que é ao nível das moléculas, das partículas e dos átomos que se joga parte importante do jogo da vida e da própria composição e funcionamento do infinitamente grande, isto é, do universo. Essa busca resultou em enormes avanços científicos e materiais para a humanidade, assim como no deslanchar de forças que chegaram a ameaçar a própria sobrevivência da civilização sobre o planeta, tanto sob a forma do holocausto nuclear como na perspectiva de uma guerra biológica ou química.

Agora, quando os novos equilíbrios estratégicos e a diminuição das tensões permitida pela relativa convergência de valores e de sistemas econômico-sociais atribuem um sentido positivo às pesquisas científicas nas áreas da energia atômica, dos novos materiais, dos elementos químicos e da biologia, as possibilidades abertas pela inovação tecnológica e pela cooperação internacional nessas áreas de fronteira do conhecimento humano abrem um potencial imenso de realizações, para a humanidade em geral, e também para o Brasil.

O Brasil logrou, com efeito, construir um sistema de ciência e tecnologia que se caracteriza pela quase excelência, do ponto de vista dos padrões conhecidos nos países em desenvolvimento, inclusive não ficando a dever, em certas áreas de pesquisa, quase nada aos países desenvolvidos. O desempenho do Brasil é menos satisfatório no que se refere à transposição das descobertas, inovações e resultados do saber científico para o campo da pesquisa aplicada e no terreno prático de suas derivações tecnológicas e industriais mais imediatas. Ambas as insuficiências resultam de uma deficiente cultura patentária e de um preconceito ainda latente na academia ‑ felizmente cada vez mais residual ‑ contra aplicações instrumentais ou “utilitárias” da pesquisa científica. Ainda assim, pode-se dizer que os resultados já alcançados nessa área, inclusive a partir da “marcha forçada” em direção dos últimos gargalos nos ramos intermediários e de insumos, bem como os investimentos estatais em alguns setores de ponta, oportunamente revertidos ao setor privado, permitem classificar o Brasil como uma economia industrializada e plenamente inserida na terceira revolução industrial.

Mas, esse “acabamento” relativamente satisfatório do processo industrializador no Brasil pode doravante estar sendo ameaçado, justamente, pelos novos processos, métodos e materiais inéditos que estão emergindo como resultado da revolução da nanociência e da nanotecnologia aplicadas ao complexo e diversificado setor industrial ou manufatureiro. De fato, a nanociência permite, impulsiona e praticamente obriga à geração de conhecimentos avançados, que se revelam convergentes em vários setores da arte e do engenho humanos, em biotecnologia, nos novos materiais, na instrumentação técnica, assim como nas próprias formas de organização social da produção e do trabalho humano. A nanotecnologia, por sua vez, leva, quase que naturalmente, ao surgimento de novos ramos industriais e de novos mercados que, ao configurarem um novo padrão, superior, de produção fabril e manufatureira, não tardarão a se impor, doravante, como a mais nova fronteira da civilização industrial, um paradigma incontornável de concepção, desenho e fabricação de novos produtos e insumos que modificarão, de forma substancial e irremediavelmente, as características da sociedade atual.

As tendências que já apontam para uma situação de ruptura tecnológica e de mudança profunda na configuração de procedimentos industriais afetarão a produtividade relativa das indústrias, o jogo das vantagens comparativas entre os países, bem como a própria composição do comércio internacional, condenando os países que não se alinharem aos novos padrões a perdas gradativas de competitividade ou até mesmo à esclerose precoce de parques industriais inteiros. Não há nenhum exagero na afirmação precedente: o lado científico e, *a fortiori*, o lado prático da nanotecnologia chegaram para alterar definitivamente velhos padrões industriais e correntes tradicionais de comércio internacional. Uma coisa precisa ficar clara, desde já: os países que não se decidirem por incorporar, por adotar ou que, simplesmente, não se adaptarem ao novo paradigma correm o sério risco de serem alijados dessa nova face da civilização industrial emergente.

Trata-se, portanto, de uma questão de sobrevivência e de preservação dos níveis de bem-estar. Não se deve estranhar, assim, que os níveis de investimentos financeiros nessa área, tanto em países desenvolvidos (como EUA, Alemanha e França), como em países em desenvolvimento (com destaque para a China, Índia e Coréia), sejam, desde já, significativos e crescentes. As perspectivas, de certa forma, são comensuráveis com as altas expectativas de mercado para produtos da nanotecnologia: cerca de 1 trilhão de dólares nos próximos 10 a 15 anos, com a possibilidade, segundo estimativas, de que o Brasil ocupe talvez 1% deste faturamento.

Essa personagem central da nova revolução industrial de nosso tempo, que é a nanotecnologia, apresenta a potencialidade de acoplar e introduzir novas sinergias ao esforço brasileiro de desenvolvimento econômico, científico e tecnológico. Existem, claramente, oportunidades abertas ao Brasil, enquanto economia que possui uma competência identificada (ainda que não de forma inteiramente sistemática) numa área que vai modificar de forma irremediável o padrão de desenvolvimento industrial e tecnológico no futuro próximo. Vale mencionar, neste particular, a existência de um grupo de trabalho criado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia em 2003, ao qual foi atribuída a responsabilidade da elaboração de Plano Trienal de Nanociência e Nanotecnologia, e de uma comissão responsável pela Organização da Oficina de Nanociência e Tecnologia, na Unicamp, também em 2003 (os relatórios podem ser conferidos nos seguintes links: [http://www.mct.gov.br/T](http://www.mct.gov.br/)emas/Nano/prog\_nanotec.pdf e <http://www.prp.rei.unicamp.br/nano/resumos.pdf>). O Brasil possui pequeno (mas ativo) número de universidades ocupadas nessa nova área de conhecimento. Duas universidades brasileiras, a USP e a Unicamp, respondem por cerca da metade da produção científica publicada em nanotecnologia, seguidas em quase igualdade de condições pela Universidade Federal de São Carlos, pela UFMG e pela UnB.

A gama de atividades classificadas como nanotecnologia cobre áreas de pesquisa tradicionais como a química e a física, chegando às atividades que envolvem ciências dos materiais, biotecnologia, etc., o que demonstra o caráter altamente abrangente da nanociência e da nanotecnologia (N&N). De fato, uma das particularidades da N&N é que ela requer competências científicas com os mais variados horizontes. A N&N sendo uma área altamente interdisciplinar não permite que se tenha uma idéia exata dos aspectos relacionados a cada uma das disciplinas implicadas. Como todas as áreas, ela está baseada em noções fundamentais conhecidas dos cientistas e engenheiros. Aliás, a separação entre nanociência e nanotecnologia não tem nenhum significado na prática: é exatamente por esta razão que na maioria do tempo o termo nanotecnologia acaba por recobrir nanociência.

Todos os países inovadores estabeleceram e apóiam ativamente programas de nanotecnologia, com orçamentos crescentes e do mesmo nível que a biotecnologia, tecnologias da informação e meio ambiente. Os programas de nanotecnologia analisados estão vinculados às estratégias nacionais de desenvolvimento econômico e de competitividade e todos têm alvos econômicos definidos. Todos os setores industriais estão desenvolvendo produtos nanotecnológicos, embora algumas empresas optem por não identificá-los como tal, por razões, provavelmente, de imagem pública, ou talvez para diminuir resistências do tipo das que se manifestaram em relação a produtos da biotecnologia.

O crescimento previsto pelos especialistas para os mercados de produtos nanotecnológicos é muito superior ao crescimento de outros mercados dinâmicos, como o de computadores e telefones celulares. Estima-se que as aplicações de nanotecnologia e as que estarão atingindo os mercados nos próximos anos são evolucionárias, mais do que revolucionárias, estando concentradas nas áreas de determinação de propriedades de materiais, produção química, manufatura de precisão e computação. Não existe, no momento, nenhuma possibilidade razoavelmente definida para o uso de nanomáquinas capazes de fabricar materiais montando-os átomo por átomo. Apesar delas ocuparem espaço na imaginação de escritores, elas não estão nas cogitações de estrategistas das empresas inovadoras a não ser nas formas de síntese química/bioquímica e auto-organização. No entanto, é muito provável o aparecimento – praticamente inevitável - de aplicações revolucionárias da nanotecnologia, a médio e longo prazo.

**Nanotecnologia – Revolução Tecnológica progride sem alarde**

No início do século XXI, a nanociência e a nanotecnologia passaram a ser reverenciadas como protagonistas de uma nova revolução industrial. Após uma década, para quem não está muito atento, o entusiasmo parece ter arrefecido. Pouco se fala em revolução. Para os especialistas, essa aparente saída dos holofotes da fama está totalmente equivocada. Os efeitos dos investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento feitos nos últimos anos pelos governos dos países avançados e por multinacionais gigantes do mundo químico se traduzem em lançamentos diários de produtos com componentes nanoparticulados. Muita coisa ainda está por vir.

“A nanotecnologia e a biotecnologia são hoje os grandes focos do desenvolvimento científico. A nanociência representa 50% dos artigos científicos relativos à química publicados em todo o mundo”, destaca Henrique Toma, professor titular do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) e coordenador do Núcleo de Apoio à Nanotecnologia e Nanociências da USP. Ele fala com conhecimento de causa. É membro da Academia Brasileira de Ciências, da Academia de Ciências do Mundo em Desenvolvimento e da Divisão de Química Inorgânica da União Internacional de Química Pura e Aplicada (Iupac). Recebeu quinze prêmios nacionais e internacionais, entre eles a Comenda Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico.

Para Toma, o fato de produtos nanotecnológicos chegarem ao mercado de forma pouco perceptível era esperado. Nem sempre as empresas anunciam a presença de nanopartículas, mas já existem vários produtos disponíveis para os consumidores, casos de computadores, cosméticos, tecidos e tintas, entre outros. A indústria farmacêutica está entre as que mais investem e em breve nova geração de medicamentos deve chegar ao mercado – os lançamentos nessa área são demorados, passam por prolongados testes antes de serem postos à venda. “A invasão tem sido ‘silenciosa’ e atinge todas as áreas de conhecimento”, resume.

Ele reconhece como legítima a preocupação de ambientalistas e outros profissionais com as consequências da manipulação de produtos nanoestruturados. Mas ameniza os riscos ao lembrar que as nanopartículas fazem parte da natureza. “Ao respirarmos, inalamos nanopartículas; a fumaça é cheia de nanopartículas”, exemplifica. E exalta o forte preparo dos responsáveis pela produção dos produtos na indústria. “São pessoas com muito conhecimento e preocupadas com a segurança”, reforça.

O cientista lamenta a situação brasileira nesse cenário. Para ele, os investimentos feitos em ciência pelas esferas governamentais têm sido menos que insuficientes. Os parcos recursos têm gerado trabalhos valiosos nas instituições de ensino. A iniciativa privada, por sua vez, não demonstra o interesse esperado para aproveitar a evolução da ciência em ações de pesquisa e desenvolvimento.

O resultado desse cenário, caso não ocorra nenhuma guinada nos próximos anos, será a ampliação do que é visto hoje. O país é grande importador de produtos químicos com tecnologia agregada e pode se tornar cada vez mais dependente. “Para realizar um estudo, importei micropartículas magnéticas feitas de óxido de ferro pagando US$ 1.700 por kg. Esse é um produto que pode ser feito em laboratório por alguns centavos, desde que se desenvolva a tecnologia para isso”, exemplifica.

A mudança de rota não é simples. “Não há milagre quando falamos em alta tecnologia. A indústria química brasileira precisaria investir US$ 32 bilhões nos próximos dez anos para atingir nível satisfatório de desenvolvimento”, avalia. O cientista critica os rumos adotados pelo governo federal a partir de 2009. “Eles reduziram os investimentos em todas as áreas científicas”, acusa.

Uma ressalva vai para a Petrobras, apontada como exceção. Nos últimos anos, por meio de seu centro de pesquisas, a maior empresa do país tem patrocinado vários estudos para desenvolver produtos nanotecnológicos que possam facilitar a descoberta e exploração do petróleo. Por fim, Toma ressalta: “Não existe país desenvolvido sem uma indústria química forte”, lembra.

# Nanociência e Nanotecnologia

Prof. Eudenilson L. Albuquerque

A nanociência está sendo considerada como um dos mais fascinantes avanços nas tradicionais áreas do conhecimento. Ela nos fornece, entre outras coisas, a chave para o entendimento da auto-organização dos sistemas vivos da natureza. A sua aplicação, a nanotecnologia, promete ser uma nova e vibrante revolução industrial, fornecendo o entendimento, a produção, o controle e o uso da matéria estruturada no nível atômico e molecular, ou seja, a dimensões de 1 a 100 nanometros, onde fenômenos de natureza quântica permitem novos e revolucionários rumos. Um nanometro, cuja abreviatura é nm, equivale a um bilionésimo de metro. Como referência comparativa, o diâmetro médio de um átomo mede 0,2 nm, um vírus tem um tamanho variável de 10 a 100 nm, uma bactéria mede em torno de um milionésimo do metro, ou seja, 1000 nm, e o diâmetro de um fio de um cabelo humano corresponde a cerca de 50 mil nm (ver Fig. 1).

    

Fig. 1: A escala nanométrica obtida reduzindo-se a dimensão da mão humana a partir do quadrado central (na sequência: 10 cm, 1 mm, 100 nm).

Muito embora o interesse pela nanociência e nanotecnologia (N&N) pareça ser bastante recente, sabemos que ela existe desde quando átomos e moléculas começaram a se organizar em estruturas complexas dando origem à vida. No entanto, considera-se que o seu marco inicial se deu no dia 29 de dezembro de 1959 ocasião em que o Prêmio Nobel de Física Richard Feynman proferiu, na Reunião Anual da American Physical Society (Sociedade Americana de Física) ocorrida no California Institute of Technology (Instituto Tecnológico da Califórnia),  em Pasadena-CA, a palestra "There's plenty of room at the bottom" ("Há bastante  espaço lá embaixo"). Nesta palestra ele sugeriu que em um futuro próximo a humanidade conseguiria manipular objetos de dimensões atômicas. Como ilustração, Feynman desafiou a comunidade científica a diminuir em 25 mil vezes a página de um livro. Isto tornaria possível condensar, na cabeça de um alfinete, todas as páginas dos 24 volumes da Enciclopédia Britânica, abrindo assim as perspectivas de que muitas descobertas se fariam com a fabricação de materiais em escala nanométrica.

Em termos tecnológicos, uma primeira motivação para o desenvolvimento de objetos e artefatos na escala nanométrica está associada à possibilidade de que um número cada vez maior deles venha a ser reunido em dispositivos de dimensões muito pequenas, aumentando assim a compactação e sua capacidade para o processamento de informações. Por exemplo, o tamanho dos transistores e componentes se torna menor a cada nova geração tecnológica, o que permite um maior rendimento de novos chips processadores que neles se baseiem. Embora de tamanho igual ou menor aos da geração anterior, esses chips podem combinar número muito maior de componentes ativos em uma única unidade. Ao mesmo tempo, uma redução na escala física levará também a uma economia de energia, já que a potência desperdiçada por um dispositivo é proporcional a seu tamanho.

No entanto, mais que na procura pelo simples benefício direto da redução de tamanho, a grande motivação para o desenvolvimento de objetos e dispositivos nanométricos reside no fato de que novas e incomuns propriedades físicas e químicas - ausentes para o mesmo material quando de tamanho microscópico ou macroscópico - são observadas nessa nova escala. Por exemplo, uma amostra de um material metálico, ou seja, naturalmente condutor de eletricidade, pode se tornar isolante quando em dimensões nanométricas. Um objeto nanométrico pode ser mais duro do que outro que, embora formado do mesmo material, seja de maior tamanho. Por sua vez, a cor de uma partícula de um dado material pode também depender de seu tamanho. Um material magnético pode deixar de se comportar como um imã ao ser preparado sob forma de amostras nanométricas. Um material relativamente inerte do ponto de vista químico, como o ouro, pode se tornar bastante reativo quando transformado em nanopartículas. Enquanto a nanociência busca entender a razão para essa sutil mudança de comportamento dos materiais, a nanotecnologia busca se aproveitar destas novas propriedades para desenvolver produtos e dispositivos para vários diferentes tipos de aplicações tecnológicas.

Um dos feitos mais importantes para o desenvolvimento da N&N foi a invenção em 1981 do microscópio de varredura por tunelamento eletrônico nos laboratório da IBM em Zurich-Suiça. A concepção deste microscópio é bastante simples, baseada no funcionamento dos antigos toca-discos. Uma agulha extremamente fina, cuja ponta é constituída de alguns poucos átomos ou até mesmo de um único átomo, "tateia" uma superfície sem nela tocar, dela afastada de menos de um nanometro. Durante a varredura da agulha, elétrons tunelam (tunelamento é uma forma de movimento de origem quântica que ocorre na escala atômica) da agulha para a superfície e com base nessa corrente de tunelamento um computador constrói uma imagem extremamente ampliada da superfície, na qual ficam visíveis os seus átomos. Dessa forma, pela primeira vez o relevo atômico da superfície de uma estrutura pôde ser visto e investigado. Ele deu origem a uma família de instrumentos de visualização e manipulação na escala atômica, coletivamente denominados microssondas eletrônicas de varredura. Em um sentido figurado, eles podem operar como pinças capazes de manipular átomos e moléculas. Isso foi demonstrado de forma espetacular em 1990, nos laboratório da IBM em Almaden, Califórnia, ocasião em que o logotipo IBM foi escrito precisamente posicionando 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel.

Parte muito significativa da N&N concentra-se na criação de novas moléculas com arquiteturas  especiais, do que resultam propriedades também muito especiais. Um grande esforço está sendo concentrado na invenção e produção de moléculas cuja arquitetura faça com que elas se auto-organizem em estruturas maiores, similarmente ao que ocorre com as moléculas biológicas. As possibilidades vislumbradas são de tirar o fôlego: computadores moleculares muito mais poderosos, catalisadores nanométricos mais diversificados e eficientes, materiais avançados para próteses, e até anticorpos sintéticos capazes de encontrar e destruir vírus ou células cancerígenas onde eles se encontrem no corpo. Na verdade, toda a farmacologia pode obter avanços revolucionários advindos da N&N. Os princípios ativos das drogas podem ser agregados à superfície ou encapsulados no interior de macromoléculas projetadas para serem absorvidas por órgãos específicos do corpo, ou por órgãos afetados por determinadas doenças, onde finalmente liberarão a droga. Dessa forma, doses muito menores de drogas podem se tornar efetivas, com a conseqüente drástica redução dos efeitos colaterais.

Uma outra vedete desta nova tecnologia é a engenharia molecular, isto é a engenharia na escala atômica/molecular. Esta é a última escala da matéria ordinária, onde os materias tradicionais são substituídos por moléculas orgânicas, como o DNA, dando origem ao que está sendo chamado de nanoeletrônica (em contra ponto a microeletrônica responsável por, entre outras coisas, a indústria da informática) e nanorobótica. Quer conhecer uma receita simples para fabricar nanotransistores muito mais eficientes do que àqueles utilizados nos chips de computadores? Então anote: pegue algumas moléculas de DNA com formato que as permitam se ligar a nanotubos de carbono (outra maravilha do mundo nanotecnológico); salpique com alguns grãos de ouro tudo sobre uma superfície limpa de silício: pronto, você tem sua fornada de nanotransistores. O uso do DNA sinaliza que outras moléculas biológicas também poderão ser integradas ao projeto desses circuitos eletrônicos do futuro, modificando profundamente tudo que existe atualmente (veja a Fig. 2).



Fig. 2: Conexão elétrica feita com a molécula do DNA substituindo o fio metálico

O simples fato desta realidade se tornar possível nos leva a aventuras próximas da ficção científica: imagine um robô nanoscópico, do tamanho de uma bactéria, com uma dúzia de braços telescópicos. Agora, encha o ar de um aposento com tais robôs. Eles, automaticamente, se ligam uns aos outros através de seus braços telescópicos e, mantendo-se distanciados um dos outros, formam uma névoa. Uma vez cheio o aposento, eles ocuparão por volta de 5% de ar do mesmo, não prejudicando a sua qualidade. Esses robôs são programados para serem não-obstrutivos. Consequentemente poderá se andar normalmente pelo aposento, respirar, etc., sem que se dê conta da presença deles. Após sua passagem por eles, a rede se constituirá automaticamente! Deseja um copo de refrigerante que está na geladeira? Dê o comando: a porta da geladeira se abre sozinha, o refrigerante é colocado em um copo que parece pairar no ar e este virá até sua mão!Como isto foi possível? A névoa formada pelos robôs nanoscópicos exerceu as forças correspondentes sobre a porta da geladeira, o copo, etc. Tem necessidade de uma cadeira extra? Ela se materializará diante de seus olhos! Aladim nunca conseguiu entender como o poderoso gênio podia caber em sua pequena lâmpada, mas ficava maravilhado por saber que ele, o gênio, podia tornar realidade todos os seus desejos. Muito tempo depois da fábula árabe, a humanidade procura entender o mundo nanoscópico, não somente como ciência pura, mas com o desejo de criar máquinas e produtos que possam ser ao mesmo tempo tão pequenos e tão poderosos quanto o gênio da lâmpada de Aladim (veja a Fig.3).



Fig. 3: Nanorobôs trabalhando para melhor servir o ser humano.

A N&N prometem tornar os objetos menores, mais rápidos, mais fortes, menos poluentes e mais eficientes. Isso, contudo, não deve ser confundido com miniaturizar o que já foi inventado, e sim entender e controlar o comportamento da matéria na escala nanométrica. O progresso de miniaturização pode ser obtido de duas maneiras. A primeira delas, denominada de “top-down”, significa reduzir sistemas grandes a escalas menores, para o qual se requer custos e avançada tecnologia. Este procedimento é uma evolução natural dos processos utilizados na fabricação de dispositivos microeletrônicos, normalmente se valendo das chamadas técnicas de litografia.  Por outro lado, no procedimento “bottom-up” a nano-estrutura é formada pela deposição lenta e controlada de átomos sobre uma superfície polida e regular, em um processo semelhante ao que a natureza já o faz de uma forma otimizada há milhões de anos em sistemas vivos e no meio ambiente. Embora sabendo-se que imitar processos biológicos naturais não é uma tarefa fácil, esta segunda alternativa é muito mais atrativa que a outra por requerer um menor investimento financeiro e por incentivar fortemente o trabalho conjunto de físicos, químicos, biólogos e engenheiros. Para comprovar a questão da viabilidade dos robôs nanoscópicos basta nos observarmos. De fato, os seres vivos são constituídos de verdadeiras máquinas moleculares (DNA, RNA, ribossomos, etc.), que funcionam em escala atômica e coordenam, de maneira extremamente precisa, os átomos e as moléculas que constituem os seres vivos... e, diga-se de passagem, com muito mais sucesso! (veja a Fig. 4).



Fig. 4: Nanomotor natural: a bactéria Escherichia Coli e sua cauda. Movida por componentes biológicos de escala nanométrica, a cauda gira, impulsionando a bactéria a se mover para frente.

As tendências que já apontam para uma situação de ruptura tecnológica e de mudança profunda na configuração de procedimentos industriais afetarão a sua produtividade relativa, o jogo das vantagens comparativas entre os países, bem como a própria composição do comércio internacional, condenando os países que não se alinharem aos novos padrões a perdas gradativas de competitividade ou até mesmo à esclerose precoce de parques industriais inteiros. Não há nenhum exagero na afirmação precedente: o lado científico e o lado prático da nanotecnologia chegaram para alterar definitivamente velhos padrões industriais e correntes tradicionais de comércio internacional. Uma coisa precisa ficar clara, desde já: os países que não se decidirem por incorporar, por adotar ou que, simplesmente, não se adaptarem ao novo paradigma correm o sério risco de serem alijados dessa nova face da civilização industrial emergente. Trata-se, portanto, de uma questão de sobrevivência e de preservação dos níveis de bem-estar. Estudos vêm se desenvolvendo com sistemática regularidade e os governos de diferentes países têm incluído a N&N na agenda de prioridades de seus investimentos. Para que se tenha uma idéia, em 1997 países da União Européia, os Estados Unidos e o Japão, já haviam investido cerca de 500 milhões de dólares em programas na área. Estes valores mudaram sensivelmente em 2000 quando o governo dos Estados Unidos lançou o “The National Nanotechnology Initiative” (“A Iniciativa Nacional de Nanotecnologia”), com um orçamento de 270 milhões de dólares para apoiar o fomento à pesquisa em N&N pelas várias agências do governo federal americano. A partir daí iniciou-se uma espécie de “corrida ao nano” com investimentos públicos e privados no setor crescendo em uma proporção galopante, com cerca de 4 bilhões de dólares investidos em 2004 e com uma estimativa que até 2015 os bens e serviços de base nanotecnológica deverão ultrapassar 1 trilhão de dólares anuais.

As tendências que já apontam para uma situação de ruptura tecnológica e de mudança profunda na configuração de procedimentos industriais afetarão a sua produtividade relativa, o jogo das vantagens comparativas entre os países, bem como a própria composição do comércio internacional, condenando os países que não se alinharem aos novos padrões a perdas gradativas de competitividade ou até mesmo à esclerose precoce de parques industriais inteiros. Não há nenhum exagero na afirmação precedente: o lado científico e o lado prático da nanotecnologia chegaram para alterar definitivamente velhos padrões industriais e correntes tradicionais de comércio internacional. Uma coisa precisa ficar clara, desde já: os países que não se decidirem por incorporar, por adotar ou que, simplesmente, não se adaptarem ao novo paradigma correm o sério risco de serem alijados dessa nova face da civilização industrial emergente. Trata-se, portanto, de uma questão de sobrevivência e de preservação dos níveis de bem-estar. Estudos vêm se desenvolvendo com sistemática regularidade e os governos de diferentes países têm incluído a N&N na agenda de prioridades de seus investimentos. Para que se tenha uma idéia, em 1997 países da União Européia, os Estados Unidos e o Japão, já haviam investido cerca de 500 milhões de dólares em programas na área. Estes valores mudaram sensivelmente em 2000 quando o governo dos Estados Unidos lançou o “The National Nanotechnology Initiative” (“A Iniciativa Nacional de Nanotecnologia”), com um orçamento de 270 milhões de dólares para apoiar o fomento à pesquisa em N&N pelas várias agências do governo federal americano. A partir daí iniciou-se uma espécie de “corrida ao nano” com investimentos públicos e privados no setor crescendo em uma proporção galopante, com cerca de 4 bilhões de dólares investidos em 2004 e com uma estimativa que até 2015 os bens e serviços de base nanotecnológica deverão ultrapassar 1 trilhão de dólares anuais.

O Brasil dispõe atualmente da melhor base de recursos humanos e infra-estrutura no setor da América Latina. Físicos, químicos, engenheiros e biólogos brasileiros estão investigando com muita competência esse nanomundo que, com sua enorme potencialidade e grande impacto na qualidade de vida de nossa população, está começando a ser visível. O grande desafio é a transição do laboratório para o mercado dos materiais, processos e dispositivos pesquisados. Prevê-se que a N&N deva representar a maior revolução tecnológica presenciada pela humanidade até hoje, superando o surgimento da microeletrônica, das telecomunicações, dos plásticos e das vacinas considerados como um todo. Portanto, o momento decisório atual é muito importante e crucial para o futuro do Brasil nesta área tão estratégica. A adoção de uma política correta de investimentos no setor poderá seguramente representar uma futura participação brasileira com competitividade semelhante a dos países desenvolvidos.

Prof. Eudenilson L. Albuquerque

É graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 1971), com Mestrado em Física pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ, 1975) e Doutorado em Física pela University of Essex (Inglaterra, 1980). Fez estágios de pós-doutorado no International Centre for Theoretical Physics (Trieste, Itália) em 1982 (status de Visiting Scientist), na University of Western Ontario (London-Ontario, Canadá) em 1991/92 (status de Senior Visiting Fellow), e na Harvard University (Cambridge-MA, Estados Unidos) em 1995/96 (status de Visiting Scholar). Foi Visiting Professor na University of Western Ontario (Canadá) em 2003, e no ETH-Zurich (Suiça) em 2008, além de Fulbright Senior Visiting Professor na Boston University (Estados Unidos) em 2006. Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, onde já exerceu o cargo de Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação (1987-1991), e Pesquisador nível 1A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

**ENTREVISTAS - *Alguns chegam a colocar que a Nanotecnologia tem a mesma importância da revolução industrial".***A nanotecnologia tem como avô o Prêmio Nobel de Física 1965, Richard Feynman. Ele realizou uma exposição visionária no final de uma reunião anual da Sociedade Americana de Física, em 29 de Dezembro de 1959, no California Institute of Technology (Caltech). Muitos dos ouvintes acreditaram que Feynmam estivesse contando uma piada, dado seu mítico pendor para o humor. Outros questionaram se já não estaria sóbrio. O título da palestra polêmica foi There´s plenty of room at the bottom - Invitation to enter a new field of Physics. O público agitou-se quando ele perguntou com ar sério: Porque não poderíamos colocar os 24 volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete?, e explicou, numa linguagem quase hermética, como isso seria possível. Foram necessários, contudo, mais de 30 anos para o tema ganhar repercussão pública. Foi em 1992 que Eric Drexler, um ex-estudante do Massachusetts Institute of Technology (MIT), foi ouvido pelo subcomitê de Ciência, Tecnologia e Espaço do Senado Americano. Em 1981, ele já havia mencionado a idéia em um artigo científico que falava do desenho de proteínas para a fabricação a nível molecular. Em 1986, escreveu o clássico Engines of Creation, responsável por divulgar o conceito de nanotecnologia; um novo jargão, nascido do termo "nano", que significa a bilionésima parte do metro (a milionésima parte do milímetro). Muita gente da academia o considerou maluco ou excêntrico e mesmo gente do meio da alta tecnologia, como Phillip Barh, da Hewlett-Packard, o condenou, então, como uma fraude. No livro, Drexler teorizava a construção de um montador molecular - uma minúscula máquina que primeiro manipularia os átomos de forma a construir outra máquina igual a si própria e depois se replicaria quantas vezes que fossem necessárias a fim de produzir uma força de trabalho capaz da produção em larga escala em nível atômico.

*O Professor Oswaldo Luiz Alves\* esteve em Salvador para participar da Semana de Química da Universidade Estadual da Bahia 2004, na qual ministrou o curso intitulado "****Introdução a Nanotecnologia****", e uma palestra aberta ao publico. Trata-se de uma autoridade nacional na pesquisa nesta área. A chamada nanotecnologia é um campo de conhecimento relativamente recente, que manipula a matéria em escala atômica, alcançando propriedades desconhecidas até então. Há algum tempo, a ficção cientifica trabalhou com a possibilidade de se construir robôs microscópicos capazes de se auto-reproduzirem. Na entrevista concedida ao jornalista Pérsio Menezes, da equipe de Comunicação da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), o professor comenta esta visão, que para ele não se restringe ao campo da imaginação, e traça um panorama da situação atual da pesquisa em Nanotecnologia.*

**FAPESB - O que é nanotecnologia?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Nanotecnologia é um termo de significação muito abrangente. Sobretudo porque a nanotecnologia é uma área do conhecimento que toca em várias outras áreas. Quando falamos em nanotecnologia, estamos falando em materiais, em fármacos, em genômica, em negócios, etc. Não há uma definição que seja absoluta. O que existe é uma aproximação que normalmente é utilizada para caracterizar a atividade: é o estudo dos sistemas, com dimensões menores do que 100 nanômetros (lembrando que o nanômetro é a 0,000000001 parte de um metro) e que apresentam propriedades inovadoras em função do tamanho". Essa é uma definição. Só passa a ser nanotecnologia quando ocorrem propriedades que dependem desta escala de tamanho. A nanotecnologia vem com um tipo de conhecimento que vai trazer modificações muito importantes na vida das pessoas. Alguns chegam a colocar que a nanotecnologia tem a mesma importância que teve a revolução industrial.

**FAPESB - Como a nanotecnologia pode influenciar no cotidiano?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Já que esse conhecimento influencia todas as outras áreas, como coloquei na primeira resposta, é claro que vamos começar a ter um número grande de realizações que vão afetar diretamente a vida das pessoas. Alguns exemplos: estamos na Bahia, um sol muito forte. Talvez poucas pessoas saibam, mas os cremes usados para a proteção solar já têm nanotecnologia. As partículas responsáveis pela ação de filtragem de alguns comprimentos de onda da radiação solar são nanotecnologia. Outro exemplo: hoje já se começa a ouvir falar de tecidos que se auto-limpam. São tecidos que possuem partículas onde as gorduras ficam impregnadas e se decompõem. Mais um exemplo: um impacto grande vai ser na área de fármacos, sobretudo na forma de ministrá-los, aquilo que em inglês se chama de "drug release", ou seja, o envio da substância ativa para o lugar correto onde ela deve agir. Um exemplo prosaico é um modelo de automóvel da Mercedes Benz que será lançado em 2005. Esse carro vai usar uma pintura que não risca e não suja, produzida com a apropriação de conhecimentos da nanotecnologia.

**FAPESB - Houve uma discussão recentemente na mídia sobre se o Brasil tem condição de realizar pesquisa nesta área, ou trata-se de uma pesquisa cara que só pode ser feita pelos países ricos. O que o senhor acha sobre isso?**

**Oswaldo Luiz Alves** - O Brasil tem todas as condições de pesquisar a nanotecnologia. Estamos terminando um levantamento importante de prospecção dessa área no país. Esse levantamento está sendo feito para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e os dados mostram que nós já temos uma comunidade importante, já temos uma parte da infra-estrutura, já temos pesquisadores trabalhando na área, já temos até os primeiros produtos de nanotecnologia. Ou seja: já temos as condições iniciais para desenvolvermos um programa importante e consistente de nanotecnologia para o país. É claro que a área pressupõe investimentos elevados. Nota-se na esfera governamental federal a percepção de que se trata de uma questão estratégica: ela pode vir a mudar, em pouco tempo, o modo de produção de vários produtos. Isto representaria uma quebra de paradigma. Dessa forma, o setor industrial está olhando a nanotecnologia como possibilidade de novos negócios. Recentemente participamos de uma reunião, em São Paulo, na FIESP, na qual ficou o sentimento que os industriais paulistas têm um forte interesse que essa área seja desenvolvida dentro da perspectiva de agregar esses novos conhecimento aos seus produtos.

**FAPESB - O senhor falou que o Brasil já está desenvolvendo os primeiros produtos em nanotecnologia. Quais são eles?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Todos os produtos acabam passando pela questão do patenteamento. Temos várias idéias patenteadas que poderão ser transferidas para o setor produtivo. O produto não é criado e produzido imediatamente. Há toda uma legislação de patentes feita para proteger o conhecimento alcançado nas pesquisas dos diferentes laboratórios. Posso citar alguns: temos detectores de radiação ultravioleta, desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Temos uma espécie de "língua eletrônica", que é um sistema que permite detectar e fazer, por exemplo, seleção de café, de alimentos, etc., desenvolvida na Embrapa. Certamente vamos ter bons desenvolvimentos na área de embalagens especiais que vão permitir guardar substâncias como azeite, vinagre e até mesmo cerveja em recipientes de plástico, que não permitem que o oxigênio penetre no interior e deteriore a substância. Esse é um pouco do universo que se observa nesse momento e que, certamente, tende a crescer bastante. Eu diria que a área dos cosméticos é a área de maior visibilidade na utilização da nanotecnologia em nosso país.

**FAPESB - Por que a implantação do Instituto Nacional de Nanotecnologia causou tanta polêmica?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Mais uma vez, por se tratar de uma área que tangencia diversas áreas do conhecimento e, conseqüentemente, os seus vários atores acabam tendo formas diferentes de ver a mesma questão. Existem pessoas que estão interessadas na existência de um instituto, que seja referência. Existem pessoas que estão interessadas em atuar em redes cooperativas de pesquisa científica. Na minha opinião, essas coisas não são excludentes. O processo da nanotecnologia deve ser encarado dentro de uma estratégia na qual todos os atores, todas essas idéias, possam ser contemplados dentro de um programa nacional.

**FAPESB - Então se trata de modelos diferentes na organização das pesquisas?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Exatamente. As controvérsias existem porque existem pensamentos diversos de como organizar a pesquisa na área. Mas, na minha opinião, essa não é uma questão tão importante. O mais importante é que o Brasil se lance na área e use a competência já existente. Também é importante criar novas competências, e que esse processo seja uma iniciativa nacional. Devemos ter vários atores - sejam institutos, sejam redes - mas todos eles devem trabalhar na direção daquilo que o país quer atingir.

**FAPESB - O Instituto de Nanotecnologia Brasileiro foi orçado em 30 milhões de reais. Esse valor é suficiente para posicionar o Brasil mundialmente na pesquisa nesta área?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Não. 30 milhões é um valor que pode ser considerado importante, mas os investimentos aplicados em programas nacionais de outros países são muito mais elevados. Isso significa que a questão do financiamento da nanotecnologia terá que ser um misto de dinheiro do Estado, portanto das agências de fomento, dos fundos setoriais, mas também do setor produtivo. Acho que nós teríamos condições de aumentar esse valor. Necessitamos de um aporte suplementar importante de recursos para que essa atividade cresça bastante em nosso país.

**FAPESB - Uma sondagem recente realizada pelo Instituto de Pesquisa Aplicada (IPEA), mostra que no Brasil apenas 1,7% das empresas investem em inovação. Quais ações o senhor acha que devem ser feitas para estimular a inovação de nanotecnologia no setor produtivo?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Aquela reunião que eu comentei, ocorrida em São Paulo, e outras que vão se seguir, vão exatamente no sentido de sensibilizar o setor produtivo. E o discurso é muito claro, quer dizer: se não houver a inovação tecnológica, os negócios podem sofrer prejuízos. Como eu disse, a nanotecnologia está chegando e assumindo um conjunto importante de modos de produção de maneira que, em muitos casos, quem não tiver produtos que tenham alguma base de nanotecnologia, certamente terá problemas de competição no mercado. O diálogo com o setor produtivo é muito importante, diria fundamental. Devemos sensibilizá-lo para que comecemos os projetos juntos: academia e setor produtivo.

**FAPESB - Qual o papel da academia no sentido de incentivar a inovação dentro do setor produtivo?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Essa é uma questão muito importante. Vale a pena, antes de tentar respondê-la, discutir um pouco o que está por trás dela: a questão das patentes. Qualquer relacionamento com o setor produtivo passa pela questão das patentes. Não existe ainda consolidada, na universidade brasileira, a cultura das patentes. Não existe, na grande maioria das vezes, a preocupação de proteger o conhecimento através desse instrumento. Estamos num momento extremamente interessante porque a academia e o setor produtivo estão se olhando de maneira nova. Há algum tempo nos olhávamos como dois mundos completamente independentes. Eu, por exemplo, sou membro do Conselho Deliberativo do CNPq e, este conselho, conta também com representantes do setor produtivo. As decisões do CNPq, portanto, têm a participação também dos representantes do setor empresarial. A inovação está diretamente ligada à conjunção destes dois mundos. É importante considerar que dentro de algumas grandes empresas também há pesquisa para a inovação. Hoje, já é aceita a visão de que uma boa ciência é um dos elementos importantes para a geração de PIB.

**FAPESB - Como a aprovação da Lei de Inovação ajuda nesse processo?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Todas as leis tem aspectos positivos e negativos. Qualquer lei é fruto de uma extensa negociação. Apesar de não ser uma lei de inovação que todos gostaríamos, dá um passo importante nessa questão que eu coloquei: a cooperação entre o setor produtivo e o setor acadêmico. A pesquisa que está relacionada ao desenvolvimento do produto, via de regra, é feita dentro do ambiente empresarial, o desenvolvimento do conhecimento, por outro lado, é feito dentro do ambiente acadêmico. Temos que aprender a trabalhar juntos; encontrar sinergias nas diferenças.

**FAPESB - Sobre a ameaça do que a mídia tem chamado de grey goo (gosma cinza), a nuvem de nanomáquinas que se autoreproduziriam e infestariam todo o planeta. É uma possibilidade real, ou é apenas ficção?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Eu sou de uma linha da nanotecnologia real. Eu me envolvi com nanotecnologia quando ela ainda não era nem chamada por esse o nome. Nossos primeiros trabalhos ligados a nanopartículas de semicondutores são de 1989. Somente muito depois, fomos rotulados de pesquisadores que trabalhavam com nanotecnologia. O que eu poderia dizer é que há um conteúdo ficcional em várias observações. Principalmente Eric Drexler, nos seus dois livros, que levaram a especulação sobre "grey goo". Muita gente fala de motorzinhos dentro do corpo humano. Eu não vou dizer que isso não possa vir a acontecer. Mas, neste momento, eu não consigo visualizar este panorama porque ainda existem uma série de gargalos científicos que precisam ser superados antes de se atingir tal situação. Ao invés de pensar nisso, devemos nos preocupar com que tipo de impactos a nanotecnologia trará para a saúde das pessoas e para o meio ambiente. Um dos editais lançados pelo CNPq, neste ano, tinha uma chamada específica incitando os pesquisadores a começar estudar estes grandes problemas. Certamente teremos implicações sociais importantes quando essa tecnologia for disseminada e estiver integrada ao cotidiano. Com relação a gosma cinza, no momento, ela tem muito pouca importância.

**FAPESB - Foi publicada, recentemente uma edição de uma revista promovida por seguidores de determinado culto religioso com a seguinte chamada: "Células tronco, manipulação genética, nanotecnologia - Precisamos de Limites?" Estas três tecnologias realmente trazem um perigo maior, ou é apenas medo do novo?**

**Oswaldo Luiz Alves** - Se analisarmos todos os ciclos científicos da humanidade, sempre que estávamos diante do novo essas situações apareceram. Pode-se imaginar como foi quando se começou, por exemplo, o uso de vacinas. Hoje as pessoas podem até ter uma saúde melhor, mas com certeza deve ter havido algum tipo de rejeição, como a que está havendo agora. O que acontece é que muitas dessas novas tecnologias acabam colocando em questão valores arraigados na sociedade e que, em princípio, precisam ser respeitados. Essa é uma discussão que nós vamos ter. Quanto mais instruída a sociedade, melhor ela vai fazer as suas escolhas. Foi o que aconteceu com os organismos geneticamente modificados. Apesar de ter havido uma discussão calorosa o assunto ainda não está completamente pacífico. Contudo todo esse nível de esclarecimento fez com que tivéssemos uma melhor idéia do que se tratava. O que temos que considerar é que tudo envolve um certo risco. Resta saber se queremos correr o risco e, sobretudo, se saberemos administrá-lo. Mesmo um medicamento que você toma e faz muito bem para a sua saúde tem uma margem de risco. Quando você ingere um medicamento ele acaba interagindo com todo o organismo. Apesar de funcionar para debelar uma infecção, por exemplo, assim mesmo ele traz riscos. O novo sempre traz uma certa insegurança; assim é necessário municiar a sociedade com informações. Devemos chegar a um ponto em que as próprias organizações da sociedade sejam capazes de não só discutir tais assuntos, mas, até mesmo, subsidiar a tomada de decisões.

Mais informações, podem ser obtidas no site do laboratório LQES ([**http://lqes.iqm.unicamp.br**](http://lqes.iqm.unicamp.br/)), onde é possível assinar o boletim LQES NEWS, que monitora o andamento da pesquisa em nanotecnologia em 20 países no mundo.

*\* Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Pós-doutoramento no Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman (CNRS/França). Professor Titular de Química, no Instituto de Química Unicamp, foi o fundador do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES). Seu interesse está centrado em Química de sólidos e materiais, trabalhando com vidros especiais, filmes finos, vitrocerâmicas porosas, quantum-dots, nanopartículas metálicas, nanotubos de carbono e inorgânicos. Possui mais de 150 trabalhos publicados e 12 patentes depositadas. É vice-coordenador do Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IMMC). Em 2000, tornou-se MembroTitular da Academia Brasileira de Ciências e, em 2002, foi agraciado com a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Científico do Governo Federal.*
**Nota do Managing Editor:** *Esta entrevista foi veiculada primeiramente em 09 de dezembro de 2004 na rubrica Pesquisador On-Line Notícias, no site da Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia (*[***http://www.fapesb.ba.gov.br***](http://www.fapesb.ba.gov.br/)*) na sua primeira versão. A versão aqui apresentada contém algumas pequenas correções que não modificam o conteúdo original.*