

## NANOTECNOLOGIA: PROMESSAS E DILEMAS DA REVOLUÇÃO INVISÍVEL

Paulo Roberto Martins e  
Ruy Braga<sup>1</sup>

Em março de 2006, um produto de limpeza que prometia proteger banheiros da proliferação de bactérias por até seis meses foi colocado à venda na Alemanha. Batizado de *Magic Nano*, o produto tornou-se um imediato sucesso. Contudo, apenas três dias depois do lançamento comercial, teve de ser recolhido por causa de sérias reclamações. Os consumidores afirmavam que o *Magic Nano* provocara problemas respiratórios levando alguns compradores, inclusive, à internação hospitalar (The Economist, 2006).

E foi por meio deste episódio um tanto ou quanto conturbado que a nanotecnologia apresentou-se ao grande público alemão: forte expectativa seguida por uma não menos acentuada apreensão. Ou seja, uma imensa confusão. Naturalmente, muitos associaram o problema ocorrido com o *Magic Nano* aos riscos inerentes à nanotecnologia.

Contudo, trata-se de um ponto de partida problemático, pois neste caso a caracterização desta nova tecnologia aconteceu de maneira espetacular e superficial, mediada em grande parte por estratégias publicitárias e não pelo esclarecimento público. Afinal de contas, quando falamos em nanotecnologia estamos nos referindo a quê mesmo?

---

<sup>1</sup> Dr. Paulo Roberto Martins. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Coordenador do Renanosoma e Presidente do Sindicato dos Sociólogos do Estado de São Paulo.  
Dr. Rui Braga. Departamento de Sociologia da Universidade de São Paulo e Renanosoma

### “Nano... O quê?”

A nanotecnologia pode ser apresentada de duas formas. Em primeiro lugar, refere-se ao prefixo nano: um indicador de medida. Um nanômetro corresponde à bilionésima parte de um metro. Conseqüentemente, a nanotecnologia remete à escala e não especificamente a objetos ou conteúdos, como, por exemplo, a biotecnologia, cujo prefixo “bios” significa vida. Em segundo lugar, a nanotecnologia corresponde a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala dos átomos e das moléculas cuja observação requer microscópios especiais (Grupo ETC, 2005a).

O ano de referência para o nascimento da nanotecnologia é o de 1959, ano em que o físico Richard Feynman proferiu na Reunião Anual da *American Physical Society*, a palestra *Há mais espaços lá embaixo*. Nesta oportunidade, o mais notável físico estadunidense de toda a história anunciava ser possível condensar, na cabeça de um alfinete, as páginas dos 24 volumes da Enciclopédia Britânica para, desse modo, afirmar que muitas descobertas se fariam com a fabricação de materiais em escala atômica e molecular (2002).<sup>2</sup>

Ainda no terreno das definições gerais, é importante saber diferenciar a nanotecnologia da chamada nanociência. Esta pode ser definida como o estudo dos princípios fundamentais de moléculas e estruturas com uma dimensão entre 1 a 100 nm (nanômetros). A nanotecnologia corresponderia, então, à organização destas moléculas e nanoestruturas em dispositivos nanométricos.

As partículas nanos, ainda que sendo de um mesmo elemento químico, usualmente comportam-se de formas

---

<sup>2</sup> Alguns pesquisadores, ao contrário, preferem associar o surgimento da nanotecnologia não à palestra de Feynman, mas a uma outra conferência clássica ministrada por John von Neumann, em 1948, durante colóquio organizado pela Fundação Hixon no Califórnia Institute of Technology (CalTech). Ver, para mais detalhes, Dupuy (2000 e 2006).

distintas das partículas maiores, tanto em termos de cores e propriedades termodinâmicas, quando em termos de condutividade elétrica e outras características. A prata, por exemplo, inerte em escala macro torna-se instável e explosiva em escala atômica. O tamanho da partícula, nesse sentido, é muito importante, pois pode transformar a característica das interações das forças entre as moléculas, alterando assim a relação de processos ou produtos manipulados nesta escala com o meio ambiente e a saúde humana (Grupo ETC, 2005b).

Os investimentos financeiros em nanotecnologia feitos pelos países desenvolvidos e por parte das 500 maiores empresas existentes no planeta são enormes. Segundo a Comissão Européia, em 2004, o montante de investimentos financeiros globais foi da ordem de oito bilhões de euros, dos quais os grandes grupos corporativos foram responsáveis por aproximadamente metade deste valor.

É importante ressaltar que em termos de investimentos públicos, a Europa (35%) e os Estados Unidos (32%) encontram-se próximos. Contudo, em termos de investimentos privados eles estão muito distantes, pois o setor privado estadunidense é responsável por 40% deste tipo de investimentos, enquanto que a Europa responde por apenas 14% dos capitais privados investidos em nanotecnologia no ano de 2004. Do ponto de vista da estrutura de financiamento da pesquisa, o Japão encontra-se mais próximo dos Estados Unidos do que da Europa, pois a iniciativa privada japonesa investe mais recursos em nanotecnologia (37% do total investido) do que o setor público japonês (19% do total investido).

Outro dado interessante que marca o processo de desenvolvimento da nanotecnologia em escala mundial é que apenas três países ou blocos regionais (Estados Unidos, União Européia e Japão) são responsáveis por 91% dos capitais privados e por 86% dos capitais públicos investidos em nanotecnologia.

Este tipo de concentração de investimentos certamente acarretará vários impactos econômicos no desenvolvimento tanto nos países líderes do processo, como naqueles que se encontram participando de forma periférica das pesquisas nanotecnológicas (Grupo ETC, 2005a). Este é o caso do Brasil. Não há possibilidade de comparação entre os investimentos feitos pela Europa, Estados Unidos ou Japão, com os recursos destinados a nanotecnologia no Brasil.

### A nanotecnologia no Brasil

Segundo a Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologia do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), as iniciativas do governo brasileiro orientadas para o desenvolvimento da nanotecnologia iniciaram-se em 2001, quando foram criadas quatro redes de pesquisa. Entre 2002 e 2005, as redes de pesquisa nanotecnológica envolveram 300 pesquisadores, 77 instituições de ensino e pesquisa, 13 empresas, além de publicar mais de 1000 artigos científicos e depositar mais de 90 patentes. Neste período, entre 2001 e 2005, estas redes receberam cerca de três milhões de reais (MCT, 2007).

De forma desagregada, a tabela abaixo indica os resultados obtidos por cada uma das redes:

Rede	Pesquisadores	Instituições	Empresas	Artigos	Patentes
Nanobiotecnologia	92	19	9	674	25
Nanosemimat	55	18	1	970	15
Nanoestruturados	150	23	*	225	*
Renami	61	17	3	450	57
Total	258	77	13	2319	97

\* Não fornecido

Apesar de escassos, os recursos brasileiros para investimento em pesquisas nanotecnológicas tendem a aumentar, envolvendo cada dia mais as principais instituições tecnocientíficas presentes no país. Duas delas têm se destacado no tocante aos progressos das pesquisas nanotecnológicas: o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

O LNLS é um laboratório mantido com recursos financeiros do MCT e cuja infra-estrutura inclui as linhas de luz com estações experimentais instaladas na fonte de luz síncrotron, microscópios eletrônicos de alta resolução, microscópios de varredura de ponta e espectrômetros de ressonância magnética nuclear. Em suas instalações ocorrem importantes experiências micro e nanotecnológicas brasileiras.<sup>3</sup>

A Embrapa, por sua vez, destaca-se por promover pesquisas nanotecnológicas em um dos mais importantes setores econômicos brasileiros: o agronegócio (responsável por 30% do PIB do país). O crescente investimento em pesquisa nanotecnológica da empresa garantiu a produção de diversas patentes, especialmente na área de nanosensores, e a criação do Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA) - sediado em São Carlos e em fase final de instalação.

Outra importantíssima empresa brasileira que tem projetos em nanotecnologia é a Petrobrás (Martins, 2005 e 2006).

### **Promessas e riscos da nanotecnologia**

As possíveis aplicações das nanotecnologias são imensas: medicina e saúde, tecnologia de informação, produção e armazenagem de energia, ciência dos materiais, alimento, água e meio ambiente, instrumentos, fármacos, células-combustível de hidrogênio, exploração espacial... Será

<sup>3</sup> Para saber mais sobre o LNLS, ver: Burgos, 1999.

difícil encontrar um setor econômico que, no futuro próximo, permaneça alheio aos avanços nanotecnológicos. Os produtos que estão mais próximos de ser encontrados no mercado podem ser agrupados em grandes áreas como: medicina, sensores, dispositivos eletrônicos e energia.

Como frequentemente acontece com as revoluções tecnológicas, também a nanotecnologia surge acompanhada por muitas esperanças (Foladori e Invernizzi, 2006). Da cura de doenças à despoluição dos mares, do fim da fome no mundo à renovação das fontes energéticas do planeta... Uma parte da comunidade científica acredita que o processo de convergência das chamadas tecnologias BANG (*Bites, Atomic, Neuro e Genetic*) esconde a chave para, inclusive, a vida eterna. Ou, conforme a expressão consagrada pela literatura, a chave para alcançarmos a condição pós-humana (Lecourt, 2003).

#### **A nanotecnologia e o pós-humano**

*Por um lado, as nanotecnologias contêm a fascinante promessa de minúsculos robôs replicantes, os nanobots, que poderiam navegar rapidamente pelos vasos sanguíneos como se fossem mecânicos da saúde para eliminar e destruir, por exemplo, coágulos de sangue e células cancerígenas, prolongando indeterminadamente a vida orgânica humana.*

*E, por outro, a nanotecnologia poderia oferecer a base para o desenvolvimento de uma engenharia de computação atômica que utilizasse moléculas isoladas pra fazer funcionar os circuitos informacionais, aumentando, assim, indefinidamente o desempenho dos computadores e tornando viável a possibilidade de transferir o espírito humano para um suporte inorgânico formado por nanocircuitos.*

*A idéia, não mais da assistência do intelecto pelo computador, mas da transferência do intelecto para ele, atingiu sua maturidade com Hans Moravec, que desenvolveu robôs avançados para a N.A.S.A. Em diversas obras, este cientista vislumbrou a possibilidade de “transplantar” o espírito humano ligando feixes neurais do cérebro aos cabos de um computador que permitiria ao espírito humano, ser “salvo das limitações de um corpo mortal”, ou seja, estocado num computador, copiado num número ilimitado de exemplares, e “ressuscitado” à vontade.*

*Como bem nos lembra o sociólogo francês André Gorz em sua última obra, intitulada O imaterial: “Apresentados por membros de universidades de elite, líderes incontestados de suas disciplinas, os projetos que ligavam a inteligência artificial e a vida artificial, engenharia genética e nanotecnologias foram apresentados como o último estágio do projeto fundamental da ciência: emancipar o espírito da natureza e da condição humana” (2005, p. 94).*

Naturalmente, trata-se de um projeto – ao menos por enquanto – irreal, polêmico e que esbarra hoje em extraordinários limites éticos e tecnológicos. Contudo, a simples existência idealizada de um tal projeto pós-humano já indica a magnitude das esperanças trazidas ou ampliadas pela nanotecnologia. Em parte, são estas mesmas promessas e enormes esperanças que tornam mais difícil o reconhecimento da existência de riscos sócio-ambientais associados à produção industrial de nanoestruturas e de nanopartículas.

Por um lado, por exemplo, existe uma forte crença no meio científico de que a nanotecnologia não é perigosa por que a humanidade já convive há séculos com as nanoestruturas e nanopartículas são formadas naturalmente sem nunca ter ocorrido nenhum problema maior. Ao forjarem e temperarem espadas samurais e sarracenas, os artesãos armeiros japoneses e árabes inadvertidamente produziam nanotubos de carbono responsáveis pela excepcional qualidade das armas e a formação dos íons – átomos que por um motivo qualquer perderam ou ganharam elétrons – ocorre naturalmente na atmosfera por meio de colisões e movimentos dos átomos.

Esta crença, contudo, obscurece o fato de que a produção de nanopartículas ou materiais nanoestruturados em escala industrial traz consigo desdobramentos imprevisíveis quando comparados aos conhecidos ciclos naturais ou tradicionais de produção das mesmas. E isso sem mencionar o objetivo alardeado amplamente por determinadas instituições de pesquisa vinculadas a grandes grupos corporativos multinacionais de fabricar máquinas replicáveis em tamanho atômico. Trata-se de uma questão de escala: uma certa quantidade de água é absolutamente indispensável para a conservação da vida, mas água em excesso pode afogar e matar alguém.

Por outro lado, desde que o processo de mundialização do capital foi acelerado no início dos anos de 1980, o moderno campo tecnocientífico atravessa um período de transformações

acentuadas em sua relação com o campo econômico (Chesnais, 1996 e Chesnais e Sauviat, 2005). Particularmente, naquilo que diz respeito à relação entre o ciclo da inovação tecnocientífica e o ciclo do investimento em novos meios de produção decorrentes destas inovações ou o ciclo comercial. Todos sabemos que há aproximadamente dois séculos os progressos tecnocientíficos constituem os principais instrumentos de aumento dos lucros das empresas. Entretanto, existia uma nítida separação entre o ciclo de inovação e o ciclo de comercialização da inovação.

Em meados dos anos de 1970, e em resposta à crise econômica e social do antigo modelo de desenvolvimento fordista, diferentes países industrializados, tendo os Estados Unidos à frente, decidiram liberalizar seus mercados financeiros e, assim, multiplicar as possibilidades de investimento de capital. Com isso, e apoiado pelo rápido desenvolvimento das tecnologias da informação e da comunicação (computadores, satélites...), uma massa enorme de capitais sob a forma financeira passou a percorrer o mundo em busca de oportunidades de valorização (Braga, 2003).

Nos Estados Unidos, tais oportunidades apareceram sob a forma de ciclos de negócios renovados pelo desenvolvimento de novas tecnologias. As décadas de 1970 e 1980 conhecem o incremento da automação microeletrônica e um ciclo tecnológico amplamente sustentado pelo pesado investimento estatal no setor bélico: o programa “Guerra nas Estrelas”. A década de 1990 vive o *boom* do setor de produção de TI (tecnologias de informação) e, posteriormente, a difusão da internet e dos negócios “ponto com” mundializados. O novo milênio surge apoiado na onda de investimentos em biotecnologias e em engenharia genética. E agora experimentamos o início da “Revolução Invisível” representada pelas nanotecnologias e pelas nanociências.

Em apenas três décadas experimentamos várias “revoluções tecnológicas” com suas promessas e seus

encantos: a microeletrônica, as telecomunicações, a computação, a internet, a biotecnologia e a engenharia genética... Mas também passamos por várias decepções. O colapso das sociedades de tipo soviético e o fim da Guerra Fria acenderam a esperança de que o investimento em armamentos cedesse o lugar para uma ciência voltada para o bem-estar e para a melhoria das condições de saúde humanas. A primeira Guerra do Golfo acabou rapidamente com essa esperança.

O ciclo de investimento do início dos anos 1990 que tornou viável o *boom* de crescimento patrimonial centrado no “conhecimento” proporcionado pela internet fracassou no início de 2000, levando consigo alguns trilhões de dólares (Husson, 2007). Não existe solução tecnológica para as contradições do capitalismo e a esperança de enriquecimento amplamente acessível para todos aqueles que soubessem empregar sua criatividade nos negócios “ponto com” também caiu por terra.

O frenesi em torno das biotecnologias e da engenharia genética, por sua vez, foi acalmado pelo escândalo da falsificação de resultados da pesquisa genética com células-tronco precursoras da clonagem terapêutica pelo cientista coreano Hwang Woo-suk. O caso teve repercussão mundial e serviu para ilustrar como a competição exacerbada por resultados espetaculares que ocorre atualmente no campo científico tem raízes em outro campo: o econômico.

As antecipações de lucros futuros, muito comuns nos mercados financeiros, têm pressionado as instituições – universidades e empresas de pesquisa tecnocientífica – do campo científico para apresentar resultados mercadologicamente atraentes e em ritmo acelerado. Vivemos atualmente uma espécie de financeirização da ciência com o ciclo comercial passando à frente do ciclo de inovação e pressionando o campo científico por resultados de curtíssimo prazo cada vez mais espetaculares e capazes de sustentar a agitação dos mercados financeiros (Chesnais e Sauviat, 2005).

### **Nem nanocatastrofismo nem nanotimismo**

Com isso, o campo científico tende a sacrificar a precaução e o compromisso com os resultados inerentes ao ofício do pesquisador e ceder às pressões das instituições de financiamento da ciência. Naturalmente, o risco decorrente de procedimentos de produção tecnocientífica de produtos tecnológicos para a saúde humana ou para o meio ambiente aumenta exponencialmente. As nanopartículas e nanoestruturas devem ser avaliadas neste contexto e não de acordo com a crença presente no campo científico de que não há motivos para preocupação, pois a humanidade já convive há séculos com estas substâncias.

A verdade é que ainda sabemos pouquíssimo – ou quase nada – a respeito do comportamento das nanopartículas industriais já despejadas no meio ambiente (Grupo TEC, 2005a). O que realmente sabemos sobre o movimento destas partículas em contato com o meio ambiente? Onde elas vão se depositar? Qual seu potencial poluente? Da mesma forma, sabemos muito pouco sobre procedimentos de segurança na manipulação e produção destas partículas pelos trabalhadores. Que fazer para garantir a segurança dos mesmos? Quais instrumentos serão necessários? Quais serão suficientes?

Contudo, apesar de sabermos muito pouco sobre estes aspectos associados à segurança ambiental e às condições de trabalho, os grandes grupos corporativos internacionais continuam envolvidos em uma desatinada corrida na direção de produzir e despejar produtos nanotecnológicos nos mercados mundializados e, conseqüentemente, nos mais diferentes ecossistemas (Grupo ETC, 2005b). Protetores solares, geladeiras, roupas, materiais desinfetantes, aerossóis, adesivos... Vários produtos já contêm nanopartículas produzidas industrialmente e comercializadas mundialmente sem apresentar nenhum tipo alerta ao consumidor.

Mais uma vez, estamos diante do paradoxo do progresso tecnocientífico e, como sempre, devemos evitar o

catastrofismo tanto quanto o otimismo inocente. Não se trata de ser “contra” ou “a favor” da nanotecnologia. A nanotecnologia apresenta potencial para se tornar um poderoso instrumento a serviço do bem-estar humano. Afinal, quem não gostaria de poder contar com transportadores moleculares capazes de levar medicamentos exatamente para o interior das células doentes, por exemplo? Ou não gostaria de poder contar com aparelhos de diagnóstico hiperprecisos?

Entretanto, como bem sabemos, o uso capitalista da nanotecnologia privilegia o lucro. E, nas condições sociais da financeirização neocapitalista contemporânea, um tipo de lucro de curtíssimo prazo. Nesse sentido, parece-nos desejável que, como cidadãos, exijamos das autoridades competentes, nacional e internacionalmente, ações capazes de regular o uso responsável da nanotecnologia em benefício da vida humana e da preservação sócio-ambiental.

### Referências bibliográficas

BRAGA, R. **A nostalgia do fordismo**. São Paulo: Xamã, 2003.

BURGOS, M. B. **Ciência na periferia: a luz síncrotron brasileira**. Juiz de Fora: EdUFJF, 1999.

CHESNAIS, F. **A mundialização do capital**. São Paulo: Xamã, 1996.

\_\_\_\_ e SAUVIAT, C. O financiamento da inovação no regime global de acumulação dominado pelo capital financeiro. In: LASTRES, H. M. M. e CASSIOLATO, J. E. e ARROIO, A. **Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/Contraponto, 2005.

DUPUY, J.-P. **The mechanization of the mind**. Princeton: Princeton University Press, 2000.

\_\_\_\_ Os desafios éticos das nanotecnologias. In: IIEP. **Nanotecnologia e os trabalhadores**. São Paulo: IIEP, 2006.

THE ECONOMIST. *Health worries over nanotechnology*, **The Economist**, 12 de abril de 2006.

FEYNMAN, R. Há mais espaços lá embaixo: um convite para penetrar em um novo campo da física. **Com Ciência**, n. 37, nov. 2002.

FOLADORI, G. e INVERNIZZI, N. As nanotecnologias como solução à pobreza? **Inclusão Social**, v. 1, n. 2, 2006.

LACEY, H. **A controvérsia sobre os transgênicos**. Aparecida: Idéias e Letras, 2006.

GORZ, A. **O imaterial: conhecimento, valor e capital**. Annablume: São Paulo, 2005.

GRUPO ETC. **Nanotecnologia: os riscos da tecnologia do futuro**. Porto Alegre: L&PM, 2005a.

\_\_\_\_ **Tecnologia atômica: a nova frente das multinacionais**. São Paulo: Expressão Popular, 2005b.

HUSSON, M. **Mitos da mundialização: Prodígios e mistérios da “nova economia”**. São Paulo: Xamã, 2007 (no prelo).

LECOURT, D. **Humano pós-humano**. Edições 70: Lisboa, 2003.

MARTINS, P. R. (org.) **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Humanitas, 2005.

\_\_\_\_ **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente: trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional**. São Paulo: Xamã, 2006.

Ministério da Ciência e Tecnologia. **Nanotecnologia, resultados e demandas**. Brasília: MCT, junho de 2006, p.3. Disponível no URL: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/8075.pdf) Capturado em 11/01/07.