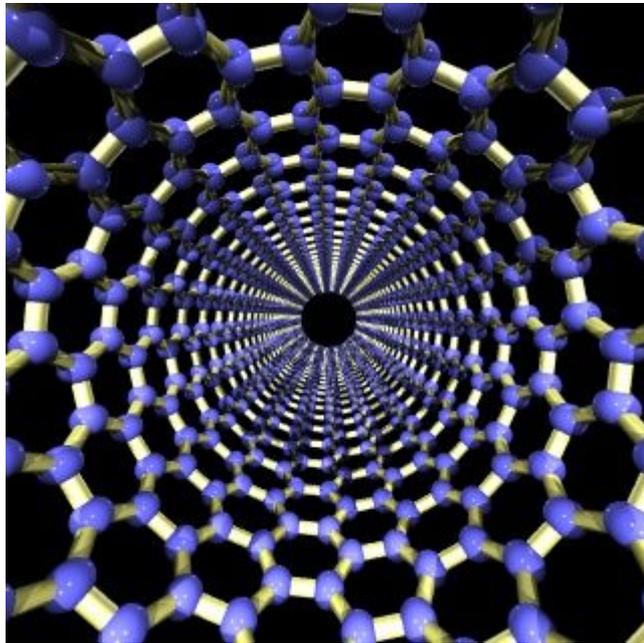


**UM PANORAMA DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL  
(E SEUS MACRO-DESAFIOS)**



Nanotubo de carbono (Arte: © Chris Ewels)

UM PANORAMA DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL (E SEUS MACRO-DESAFIOS)

Maria Fernanda Marques Fernandes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS DO PROGRAMA DE HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA.

Aprovada por:

---

Prof. Carlos Alberto Lombardi Filgueiras, Ph.D.

---

Prof. Antonio Augusto Passos Videira, Ph.D.

---

Prof. Carlos Benevenuto Guisard Koehler, Ph.D.

---

Prof. Oswaldo Luiz Alves, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO DE 2007

Fernandes, Maria Fernanda Marques.

Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios)/ Maria Fernanda Marques Fernandes: Rio de Janeiro: UFRJ/ HCTE, 2007.

xiii, 271 f., 29,7 cm

(Dissertação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, HCTE, 2007.

Orientador: Carlos Alberto Lombardi Filgueiras

1. História das Ciências 2. Nanotecnologia 3. História Contemporânea 4. Políticas Científicas 5. Tese Mestr./ HCTE/ UFRJ 4. Filgueiras, Carlos Alberto Lombardi I. Título (série)

## **AGRADECIMENTOS**

- Ao professor Carlos Filgueiras, não só pelas valiosas orientações, mas também pelos votos de confiança ao longo do desenvolvimento deste trabalho;
- A todos os pesquisadores que contribuíram para esta pesquisa com seus testemunhos;
- Aos amigos que aprenderam comigo a se interessar pela nanotecnologia e encheram minha caixa de e-mails com notícias sobre o tema;
- Aos meus pais, madrinha e noivo, que me ajudaram a controlar o estresse durante o mestrado.

Resumo da dissertação apresentada ao HCTE/UFRJ como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciências

## **UM PANORAMA DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL (E SEUS MACRO-DESAFIOS)**

MARIA FERNANDA MARQUES FERNANDES

AGOSTO / 2007

Orientador: Carlos Alberto Lombardi Filgueiras

Programa: História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia

**RESUMO:** As nanociências e as nanotecnologias (N&N) podem ser definidas como o estudo, a manipulação e o controle da matéria em escala nanométrica (um nanômetro equivale a  $10^{-9}$  metro), visando ao entendimento e à aplicação das características diferenciadas que a matéria apresenta nessa escala. Os objetivos do trabalho foram descrever a trajetória das N&N no Brasil e analisar o tratamento que elas vêm recebendo no país. A metodologia utilizada consistiu em entrevistas com pesquisadores renomados que atuam na área e na análise de documentos oficiais e materiais jornalísticos sobre o tema. Constatou-se que a pesquisa brasileira em N&N é considerada satisfatória e, embora com outros nomes, suas origens remontam há, pelo menos, 20 anos. Já havia nas universidades e centros de pesquisa do país infra-estrutura e recursos humanos voltados ao tema quando as N&N entraram oficialmente na agenda do governo, na virada para o século XXI. Nessa época, as N&N ganhavam visibilidade no cenário internacional: a nanotecnologia era, então, apontada como a solução para quase tudo, da cura do câncer ao futuro da microeletrônica. Assim, a nanotecnologia adquiriu caráter de novidade, de revolução tecnológica, e passou a ser enfatizada por seu potencial de inovação para o desenvolvimento industrial e econômico. Contudo, além de ter origens antigas, os primeiros produtos da nanotecnologia, no Brasil e no mundo, são mais inovações incrementais do que radicais. Ou seja: a nanotecnologia se parece mais com uma novidade com precedentes, menos revolucionária do que suas ambiciosas promessas. Mesmo assim, as inovações incrementais da nanotecnologia são importantes para a competitividade dos países e elas devem receber incentivos no Brasil. Aqui, a inovação, de modo geral, e a inovação em nanotecnologia, particularmente, são consideradas deficitárias. Entre as principais razões apontadas persistem a falta de interação entre os setores acadêmico e industrial e o baixo investimento das empresas brasileiras em pesquisa e desenvolvimento. Porém, já existe um movimento no sentido de promover a inovação em nanotecnologia no país. O discurso pró-inovação ainda é mais forte do que a prática, mas cientistas se mostram interessados em fazer parcerias com o setor industrial e políticas científicas buscam incentivar essa articulação entre academia e empresas, além de haver exemplos de empresários que investem em nanotecnologia. Para que esta efetivamente reforce o potencial inovador brasileiro, é preciso acelerar o processo em curso. É aconselhável definir melhor os focos onde serão concentrados os esforços e os investimentos, quase nunca considerados abundantes. Um foco poderia recair, por exemplo, na nanotecnologia aplicada à saúde, área na qual já existe uma *expertise* acumulada e pode haver retornos financeiros e sociais. Por fim, apesar da trajetória que as N&N já percorreram no Brasil, seus aspectos éticos e eventuais prejuízos para saúde, meio ambiente e sociedade são pouco estudados. Além disso, é bem possível que as N&N ainda sejam desconhecidas da maioria da população, ficando os debates restritos aos cientistas.

**Palavras-chave:** nanociência, nanotecnologia, desenvolvimento, revolução, inovação.

Abstract of the essay submitted to HCTE/UFRJ in partial fulfillment for the master's degree in Science

## **AN OVERVIEW OF NANOTECHNOLOGY IN BRAZIL (AND ITS MACRO-CHALLENGES)**

MARIA FERNANDA MARQUES FERNANDES

AUGUST / 2007

Supervisor: Carlos Alberto Lombardi Filgueiras

Program: History of Sciences and of Techniques and Epistemology

**ABSTRACT:** Nanoscience and nanotechnology (N&N) can be defined as the study, handling and control of materials on the nanometric scale (one nanometer is equivalent to  $10^{-9}$  meter), aiming at the understanding and the application of the peculiar characteristics that the material presents in this scale. The objectives of this essay are to describe the development of N&N in Brazil and to analyze how N&N are viewed in the country. The methodology consisted of interviews with renowned researchers working in the area, and analysis of official documents and journal articles on the subject. The analysis shows that Brazilian research in N&N is considered satisfactory and, although under other denominations, dates from at least 20 years ago. At the turn of the XXI century, when N&N had officially entered the government agenda, there were already research facilities and human resources directed to the subject at Brazilian universities and research centers. At this time, N&N gained visibility in the international scene: nanotechnology was then targeted as the solution to almost everything, from the cure of cancer to the future of microelectronics. Thus, nanotechnology acquired a character of newness, technological revolution, and came to be emphasized by its innovation potential for industrial and economic development. However, nanotechnology has old origins and its first products in the present phase in Brazil as well as in the world are more incremental innovations than radical changes. Likewise, nanotechnology looks like newness with precedents, less revolutionary perhaps than its ambitious foresights. Exactly for this reason, incremental innovations in nanotechnology are important for the competitiveness of countries and they must be furthered in Brazil. Here, innovation in general and innovation in nanotechnology in particular are considered lacking. The main reasons alleged for this situation are still the lack of interaction between the academic and industrial sectors and the low investment in research and development by Brazilian companies. However, there is already a movement towards the promotion of innovation in nanotechnology in the country. The speech in favor of innovation is yet stronger than the actual practice, but scientists have been showing interest in partnerships with the industrial sector and some scientific policies stimulate this articulation between academy and companies. Besides, there are already examples of entrepreneurs who invest in nanotechnology. In order to effectively strengthen the Brazilian innovative potential in nanotechnology it is necessary to speed up the process already in course. One would rather define more precisely the areas in which the country should concentrate its efforts and investments, exactly because the latter are almost never abundant. A favored area could be, for example, nanotechnology applied to health issues, an area in which already exists an accumulated expertise and which may have financial and social returns. Finally, although N&N have already had an important recent history in Brazil, its ethical aspects and eventual health and environmental hazards, as well as its impact on society, have been little studied. In addition, N&N probably are still ignored by most of the people and debates are restricted to scientists.

**Keywords:** nanoscience, nanotechnology, development, revolution, innovation.

**LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 – Língua Eletrônica (Fonte: Embrapa)

Fig. 2 – Nanodosímetro UV e Leitor USB (Fonte: Santa-Cruz, Nanotec 2006)

Fig. 3 – A estrutura do buckminsterfulereno ( $C_{60}$ ) (Fonte: Wikipedia)

Fig. 4 – Grafita  $\alpha$  e Grafita  $\beta$  (Fonte: Rocha-Filho, *Química Nova na Escola*)

Fig. 5 – Diamante e Grafita (Fonte: Herbst, *Ciência Hoje das Crianças*)

Fig. 6 – Taça de Licurgo: verde com luz refletida e vermelha com luz emitida (Fonte: Miranda, *Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología*)

**SUMÁRIO**

RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	8
CAPÍTULO 2: HISTÓRIA DA NANANOTECNOLOGIA NO MUNDO.....	25
CAPÍTULO 3: HISTÓRIA OFICIAL NO BRASIL.....	53
CAPÍTULO 4: HISTÓRIA EXTRA-OFICIAL NO BRASIL.....	78
CAPÍTULO 5: AS REDES.....	93
CAPÍTULO 6: OS INSTITUTOS DO MILÊNIO.....	114
CAPÍTULO 7: LABORATÓRIOS NACIONAIS E ESTRATÉGICOS.....	123
CAPÍTULO 8: COOPERAÇÃO INTERNACIONAL.....	130
CAPÍTULO 9: UM BALANÇO DA NANO NO BRASIL.....	138
CAPÍTULO 10: A NANO NAS CIÊNCIAS HUMANAS.....	161
CAPÍTULO 11: NANOQUÍMICA.....	174
CAPÍTULO 12: DISCUSSÃO.....	178
CAPÍTULO 13: CONCLUSÕES.....	219
REFERÊNCIAS.....	222
TABELAS.....	244
ANEXOS.....	262

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo geral apresentar um panorama do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. O primeiro passo para se cumprir esse objetivo é saber o que significa o prefixo nano. Este é derivado de uma palavra grega que quer dizer anão. Quando colocado na frente de uma unidade de medida, o prefixo nano indica um bilionésimo dessa unidade. Dessa forma, um nanômetro (nm) vem a ser a bilionésima parte do metro. Um nanômetro está para o metro assim como uma bola de gude está para a Terra (KAHN, 2006, p. 86-87). Um nanômetro é, também, o comprimento de uma fileira de cinco a dez átomos. Para efeito de comparação, a cabeça de um alfinete tem um milhão de nm, enquanto o diâmetro de um fio de cabelo mede 80 mil nm. E os menores objetos que o ser humano consegue ver a olho nu medem cerca de 10 mil nm. Conclusão: um nanômetro é algo muito, muito pequeno. Tão pequeno que desafia o nosso poder de imaginação.

Uma vez conhecido o significado do prefixo nano, é necessário destacar que a estrutura de um material nas dimensões nanométricas pode determinar características observadas no mundo macroscópico. O carbonato de cálcio exemplifica isso. Essa substância constitui tanto o giz como as conchas. O giz é formado por partículas grandes e desorganizadas, o que o torna frágil e quebradiço. As conchas, por sua vez, são bem mais resistentes, pois são formadas por nanopartículas.

“Na concha dos moluscos, minúsculos tijolos de carbonato de cálcio são assentados com uma argamassa de proteína e carboidratos, formando um material resistente a choques, trincas e fraturas, além de auto-regenerativo – o eventual aparecimento de trincas provoca a formação de molas nanométricas na argamassa, forçando seu fechamento.” (SILVA, 2004)

Esse é apenas um dos exemplos que justificam o crescente interesse de indústrias por materiais nanoestruturados, muitas vezes inspirados em mecanismos existentes na natureza. O uso da nanotecnologia pode incrementar características já existentes nos materiais ou introduzir novas propriedades. Assim, vem sendo desenvolvidos plásticos que conduzem eletricidade e revestimentos que resistem à corrosão, entre outros.

Em geral, quando se fala em nanoescala, refere-se a objetos de dimensões inferiores a 100 nm. Nessa escala, um material pode exibir propriedades físicas e químicas que ele não apresenta quando se encontra em dimensões macroscópicas ou mesmo microscópicas.

“É importante destacar que na forma nanométrica os materiais não se comportam exatamente da forma como os conhecemos e utilizamos no dia-a-dia. Aproximando-se da dimensão quase atômica, os metais já começam a expor sua verdadeira química, às vezes camuflada no mundo macroscópico.” (TOMA, agosto/2004, p. 87)

Um exemplo é o ferro, material magnético usado em ímãs permanentes. Contudo, quando o ferro está sob a forma de partículas de tamanho menor que 10 nm, ele deixa de se comportar como ímã. (MELO; PIMENTA, agosto/2004, p. 17) Outro exemplo bastante ilustrativo é o alumínio. O elemento reage facilmente com o oxigênio, originando o óxido de alumínio. Como esse processo é muito energético, ele deveria causar a combustão espontânea do metal. Mas isso não ocorre na escala macroscópica, porque o óxido produzido funciona como uma camada protetora, impedindo a continuidade da reação entre o alumínio e oxigênio. Na nanoescala, contudo, não se verifica o efeito protetor do óxido e o alumínio, exposto ao ar, sofre combustão imediata. Decorre daí o fato de que, em nanoescala, o alumínio é um material com excelentes características para a confecção de uma bomba (TOMA, agosto/2004, p. 87-88) ou para ser adicionado ao combustível de foguetes. (KAHN, 2006, p. 86-87)

Existe uma explicação de por que o alumínio e outros materiais têm comportamentos diferentes nas escalas macro e nano? Sim, há uma explicação. Na verdade, há até mais de uma. Na linguagem leiga, "é como se encolhêssemos um gato cada vez mais até que, de repente, ele vira um cão". (KAHN, 2006, p. 91) Dito na linguagem técnico-científica, fica assim:

"A alteração das propriedades de um material ao atingir a escala nanométrica se deve à combinação de dois fatores: enquanto, por um lado, é em objetos com essas dimensões que os efeitos quânticos se manifestam de maneira mais evidente, por outro, observa-se que quanto menor for o tamanho da amostra, mais importantes se tornam os efeitos de superfície, pelo aumento da proporção entre sua área e seu volume." (MELO; PIMENTA, agosto/2004, p. 10)

Para se ter uma idéia disso, basta mencionar que um litro de uma dispersão polimérica com partículas de 250 nm tem uma área superficial total de 12.000 m<sup>2</sup>, mas essa área sobe para 36.200 m<sup>2</sup> se as partículas forem de 80 nm. (AMARAL, 2006) Esse aumento da área superficial explica por que certas propriedades, como a adsorção, podem ser potencializadas na nanoescala. Além disso, no mundo macroscópico, aplica-se à física clássica, newtoniana, que se aprende no ensino médio. Na nanoescala, entretanto, a física clássica cede lugar à quântica<sup>1</sup>, que foge da observação convencional. Não está entre os objetivos desta dissertação dar uma aula sobre física quântica: basta saber que ela mexe com as tradicionais concepções de espaço, tempo, matéria e energia, de modo que parece escapar do bom senso.

Ainda nem chegamos à definição de nanotecnologia e nossa imaginação já foi bastante solicitada. Talvez por isso a nanotecnologia venha sendo considerada uma área futurista, que se confunde com a ficção científica. Há muitas definições de nanotecnologia. O periódico *Nature Nanotechnology* (vol. 1, n. 1, p. 8-10, outubro/2006) dedicou um artigo de três páginas à definição de nanotecnologia. A equipe da revista perguntou a pesquisadores,

executivos e outros qual o significado do termo nanotecnologia para eles. As respostas revelaram uma variedade de perspectivas, desde as mais céticas até as mais entusiasmadas.

Diretor executivo do Instituto de Bioengenharia e Nanotecnologia em Cingapura, Jackie Ying compara a nanotecnologia a uma caixa de ferramentas destinada a produzir novos materiais, dispositivos e sistemas. Para Thomas Theis, diretor de física do IBM Watson Research Center, produzir com precisão atômica em escala industrial ainda deve demorar algumas décadas, mas ele está convencido de que isso acontecerá. Já Doug Parr, cientista chefe do Greenpeace no Reino Unido, encara a nanotecnologia como um fenômeno econômico e social, de modo que, se ela afeta a todos, faz-se necessário um debate democrático sobre seu desenvolvimento. Há quem acredite que, na próxima década, termos específicos como nanomateriais e nanobiotecnologia serão mais usados do que a palavra genérica nanotecnologia. Na visão de Eric Drexler, uma espécie de segundo pai da nanotecnologia, as nanomáquinas desenvolvidas pelo homem serão análogas aos ribossomos, organelas celulares onde são montadas as proteínas. No entanto, as nanomáquinas serão capazes de montar uma variedade maior de estruturas, com capacidades mais amplas. Também há quem condene a propaganda exagerada da nanotecnologia ou faça um alerta de que os benefícios nanotecnológicos não atingirão os mais pobres. Professor do University of Texas Health Science Center, do M. D. Anderson Cancer Center e da Rice University, Mauro Ferrari destaca que, na nanoescala, os limites entre química, física, engenharia, matemática, biologia e outras disciplinas se dissolvem: a grande promessa da nanotecnologia é reunir esforços com foco na resolução de problemas reais, como o câncer. Peter Dobson, da Oxford University, considera que a nanotecnologia esteve próxima durante os últimos cem anos e que nanociência é um rótulo criado agora. (*Nature Nanotechnology*, vol. 1, n. 1, p. 8-10, outubro/2006)

Para os propósitos desta dissertação, será adotada a definição mais formal, segundo a qual “os termos nanociências e nanotecnologias se referem, respectivamente, ao estudo e às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor que, ou da ordem de, algumas dezenas de nanômetros”. (MELO; PIMENTA, agosto/2004, p. 9)

Muitos autores frisam que nem tudo que é nanométrico é nanotecnológico. Para ser nanotecnológico, não basta estar na nanoescala. É necessário investigar propriedades diferenciadas que a matéria apresenta especificamente na nanoescala, visando a produtos e processos inovadores que aproveitem tais propriedades. Isso caracteriza as nanotecnologias. Repare que a palavra foi usada no plural, o que serve para enfatizar que o trabalho na nanoescala é, em essência, multidisciplinar. Químicos, físicos, biólogos e engenheiros, entre outros profissionais, estão envolvidos com as nanociências e as nanotecnologias.

“Em muitos casos, quando as pessoas falam de nanotecnologia estão realmente falando sobre a pesquisa científica, ou seja, o termo nanotecnologia geralmente significa nanociência. O termo nanotecnologia é usado porque é uma expressão mais comum, apesar de sabermos que a distinção entre os termos nanociência e nanotecnologia é igualmente comparável à diferenciação entre ciência e tecnologia na acepção moderna de ambas as palavras. A ciência é o conjunto de conhecimentos adquiridos ou produzidos que visam compreender e orientar a natureza e as atividades humanas, enquanto a tecnologia é o conjunto de conhecimentos, especialmente, princípios científicos, que se aplicam a um determinado ramo de atividade, geralmente, com fins industriais, isto é, a aplicação do conhecimento científico adquirido de forma prática, técnica e economicamente viável.” (DURAN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 21)

Sim, nanociência e nanotecnologia são coisas distintas. Entretanto, cabe salientar que, embora tenhamos feito a distinção entre nanociência e nanotecnologia e explicado que existem nanociências e nanotecnologias, no plural, para o fim desta dissertação, nanociências e nanotecnologias são tratadas como um pacote único. Pacote este que foi identificado, quase sempre, apenas como nanotecnologia. Isso porque, além de nanotecnologia ser o termo mais comum, o interesse desta dissertação recai, muitas vezes, nos desdobramentos das nanociências rumo às nanotecnologias. Esse fluxo nos permite tratá-las como algo único, ainda que a pesquisa e o desenvolvimento nem sempre se concretizem na forma de produtos finais.

Nos mais variados setores da economia, frutos das nanotecnologias são concretos ou caminham para a concretização. Segundo projeção para 2015, o mercado mundial em nanotecnologias movimentará mais de US\$ 1 trilhão, sendo US\$ 340 bilhões em novos materiais; US\$ 300 bilhões em eletrônica; US\$ 180 bilhões em medicamentos; US\$ 100 bilhões em química; US\$ 70 bilhões na área aeroespacial; e US\$ 20 bilhões em instrumentação. (SANTA-CRUZ, 2006)

A nanotecnologia, que promete movimentar essas cifras altíssimas, encontra paradigmas na natureza. O homem, para criar suas nanomáquinas, pode se inspirar em sistemas biológicos muitíssimo eficientes e que funcionam na nanoescala. Esses sistemas biológicos incluem o transporte de oxigênio feito pela hemoglobina no sangue; o funcionamento dos músculos a nível molecular; a replicação do DNA; a transmissão de sinais entre os neurônios; a respiração na mitocôndria; e a fotossíntese nos cloroplastos. Tecnologias baseadas nos fenômenos que ocorrem em mitocôndrias e cloroplastos podem revolucionar o setor de energia. Exemplo recente de que a nanotecnologia deve buscar inspiração na natureza foi dado por pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), nos Estados Unidos. Com filmes poliméricos e nanopartículas, eles recriaram artificialmente o mecanismo pelo qual os escaravelhos do deserto da Namíbia captam a água. A estrutura de seu corpo permite ao escaravelho captar o vapor d'água do ar e saciar sua sede em um dos lugares mais secos do planeta. O trabalho foi publicado no periódico

*Nano Letters* (vol. 6, n. 6, p. 1213-1217, 2006) e promete ter numerosas aplicações, como na recuperação de substâncias tóxicas espalhadas no ar. (*LQES NEWS*, 01/12/2006)

Um discurso proferido por Richard Feynman em 1959 tem sido apontado como o marco inicial da nanotecnologia, como será visto no Capítulo 2. Quarenta anos mais tarde, o texto dessa palestra foi escrito com 400 nm de largura sobre uma placa de ouro. O feito foi de Chad A. Mirkin, que usou uma técnica chamada nanolitografia, na qual uma caneta microscópica manipula moléculas individuais de organotióis. (TOMA, 2004, p. 11) Embora sem utilidade prática imediata, a impressão nanoscópica do pioneiro discurso de Feynman demonstrava - de modo bastante ilustrativo - que a nanotecnologia já não era apenas uma idéia. Antes de falecer, Richard Smalley teria dito: "a nanotecnologia está deixando de ser um bebê" (KAHN, 2006, p. 107). Smalley recebeu o Nobel de Química de 1996 por um trabalho que impulsionou a nanotecnologia: a descoberta do fulereno, em 1985, que será comentada no Capítulo 2.

"Atualmente, estamos presenciando a transição do universo micrométrico, para o qual o chip nos trouxe, para o nanométrico, mil vezes menor." (TOMA, 2004, p. 13) O primeiro computador, de 1946, pesava 30 toneladas, ocupava o andar de um edifício e tinha 18 mil válvulas. Estas, segundo Belita Koiller, controlavam os elétrons "na sua forma despida, como nos raios, não em seu hábitat natural" (Apud WOLFFENBUTTEEL, 2006, p. 11), isto é, não nos materiais. Demorou muito pouco - cerca de um ano - para que a válvula ganhasse um substituto: o transistor, componente eletrônico que disciplina o movimento dos elétrons em materiais semicondutores, sobretudo no silício, e que, assim, exerce suas funções de amplificação e chaveamento de sinais elétricos. Em meados da década de 60, Gordon Moore anunciou que um único chip já podia conter 60 componentes eletrônicos integrados e que a capacidade de integração duplicaria a cada 18 meses. Essa previsão entrou para a história como Lei de Moore e vem se confirmando, graças à redução do tamanho dos transistores. Essa diminuição melhora o desempenho dos chips processadores de informação. Em 2004, já eram comercializados chips com padrões inferiores a 100 nm. (ALVES, agosto/2004, p. 27) No entanto, teme-se que a Lei de Moore perca a validade conforme os dispositivos semicondutores de silício avançam na nanoescala. Isso porque surgem dificuldades técnicas para esculpir transistores tão diminutos em um bloco de silício. A solução de tais dificuldades, para garantir a produção em escala industrial, teria custo elevado. Como alternativa, já demonstrou-se a possibilidade de construir transistores com nanotubos de carbono e moléculas orgânicas, em substituição ao silício. (MELO; PIMENTA, agosto/2004, p. 15)

Essa eletrônica molecular<sup>2</sup>, bem como outras áreas, sugere uma mudança da abordagem top-down (de cima para baixo) para a bottom-up (de baixo para cima). Top-down e bottom-up são dois procedimentos para se obter materiais na nanoescala. Na abordagem

top-down, fabrica-se um objeto nanométrico pela eliminação do excesso de material existente em uma amostra maior, como um artista esculpindo uma pedra ou um pedaço de madeira. No procedimento bottom-up, o objeto nanométrico é construído a partir da deposição de molécula por molécula ou de átomo por átomo, como uma criança que une peças do brinquedo Lego. Os átomos depositados podem organizar-se espontaneamente e formar estruturas bem definidas. A abordagem de baixo para cima também é chamada de nanotecnologia molecular. Há quem defenda que o maior potencial da nanotecnologia está na abordagem bottom-up, que representaria a face mais revolucionária da nanotecnologia.

Diversos exemplos de nanotecnologia são apresentados no livro de divulgação científica *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século, de 2004, de Henrique Eisi Toma*, professor titular do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP). Da marca francesa Varilux, lentes reflexivas – com nanopartículas incorporadas – eliminam o ofuscamento excessivo dos óculos sob iluminação forte. A empresa Nanocor, dos Estados Unidos, se especializa em plásticos com partículas nanométricas de argila, materiais destinados a embalagens com maior resistência e proteção. Da marca norte-americana Wilson, bolas de tênis com nanocompósitos<sup>3</sup> já foram usadas na Copa Davis. Já as empresas Pilkington, do Canadá, e Toto, do Japão, apostam na produção de vidros auto-limpantes, que têm revestimento de nanopartículas de dióxido de titânio. Estas absorvem energia solar e transferem elétrons para a sujeira, que sofre decomposição. Elas também ajudam a remover a sujeira porque facilitam o escoamento da água. Apesar dessas aplicações, os possíveis riscos das nanopartículas já são alvo de polêmicas, como será discutido mais adiante nesta dissertação.

As nanopartículas de dióxido de titânio não servem apenas à produção de vidros auto-limpantes. Com alto poder de absorção da radiação ultravioleta, elas também podem ser bastante úteis ao desenvolvimento de filtros solares. Ainda na indústria de cosméticos, outras nanopartículas são empregadas para aumentar a penetração de princípios ativos na pele. Já na indústria têxtil, por sua vez, tecidos baseados em nanocompósitos oferecem proteção contra radiações ionizantes. Na indústria automobilística, por sua vez, não é de hoje que nanopartículas de carbono (mais conhecidas como negro de fumo) são adicionadas à borracha dos pneus, com o propósito de torná-los mais eficientes.

“A lista de empresas envolvidas em nanotecnologia é imensa, e nela estão incluídas a DuPont, Dow, GE, Honeywell, Motorola, Amgen, Exxon, Rockwell, Texas Instruments, Lockheed Martin, Sun, Intel, Corning, Engelhard, Goodrich, Cabot, Xerox, Applied Materials, Eastman Kodak, 3M, Raytheon, [...] Basf, Siemens, Henkel-Chemie, Hoescht, Degussa, Samsung e das automotivas Volkswagen, Toyota, Daimler-Chrysler e General Motors.” (TOMA, 2004, p. 88)

E essa lista não é exaustiva. Ela não incluiu, por exemplo, IBM, Hewlett-Packard (HP), Hitachi, Mitsubishi, Roche, GlaxoSmithKline, L'Oréal, Lancôme, Zyxex e tantas outras,

que também têm investido em nanotecnologia. “A Applied Nanotech (nos EUA) já apresentou um monitor de tela plana, de catorze polegadas, baseado em nanotubos de carbono e construído com tecnologias de baixo custo.” (Ibid, p. 89) A nanotecnologia também está nos visores de máquinas fotográficas digitais: em 2003, a Kodak lançou a primeira máquina com visor de OLEDs (diodos emissores de luz orgânicos), que diminui o consumo de energia e aumenta o ângulo de visão. (Ibid, p. 70) Além disso, a Gap já lançou calças resistentes a manchas: o tecido contém fibras tratadas com nanopolímero fluorado. (KAHN, 2006, p. 91)

Todas as empresas mencionadas e seus respectivos produtos demonstram que a nanotecnologia é real, embora, à primeira vista, ela pareça algo saído da ficção científica. Tão real que o patenteamento de nanotecnologia já despertou a atenção de advogados.

“Nos Estados Unidos foi criada, em 2004, pelo US Patent and Trademark Office (USPTO), a ‘Classe 977’, categoria de patentes reservada às nanotecnologias. Para ter ‘assento’ nesta nova categoria, uma invenção terá que apresentar pelo menos uma dimensão inferior a 100 nm. E não basta apenas isso: terá ainda que ter uma característica inovadora, diretamente ligada a esta escala nanoscópica.” (ALVES, 2007)

O número de patentes em nanotecnologias no mundo subiu de 1000 para 2500, no período de 1995 a 2003. A maioria dessas patentes pertence aos Estados Unidos, seguidos pelo Japão e pela Alemanha. Em 2004, Estados Unidos, Japão e Europa tiveram orçamentos de, respectivamente, US\$ 3,7 bilhões, US\$ 2,5 bilhões e US\$ 2,4 bilhões para pesquisas nesta área. Na Europa, os investimentos públicos superam os privados. O contrário acontece no Japão e nos Estados Unidos. (LQES NEWS, 18/12/2006)

Neste momento, pode surgir o argumento de que a nanotecnologia só é real para países tradicionalmente mais desenvolvidos, mas ele não procede. Mesmo com orçamentos menores, vários outros países já entraram na corrida das nanociências e das nanotecnologias, como China (US\$ 60 milhões, de 1990 a 2004); Taiwan (US\$ 630 milhões, de 2003 a 2008); e Coréia (US\$ 1,2 bilhão, de 2001 a 2010). (MELO, setembro/2004)

Armazenamento, produção e conversão de energia; aumento da produtividade da agricultura; tratamento e remediação de água; diagnóstico e prevenção de doenças; e sistemas de direcionamento de medicamentos são áreas promissoras para nanotecnologias nos países em desenvolvimento, de acordo com estudo prospectivo conduzido pela Universidade de Toronto (Canadá). (GONÇALVES DA SILVA, 2004) África do Sul, Argentina, Costa Rica, Índia, Hong Kong, Cingapura, Malásia, Tailândia e Israel, entre outros, são países que já têm alguma ação, mesmo que frágil, voltada às nanociências e às nanotecnologias.

O Brasil também pertence a esse grupo. Os investimentos do Ministério da Ciência e Tecnologia na área somaram cerca de R\$ 140 milhões, no período de 2001 a junho de

2006, segundo relatório da Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT. As nanotecnologias estão ganhando espaço no país.

Entre os principais resultados já alcançados pelos cientistas brasileiros, destaca-se a língua eletrônica - sensor capaz de detectar com precisão e rapidez os padrões básicos do paladar (doce, salgado, azedo e amargo) em concentrações tão baixas que os humanos não sentiriam. Desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), esse dispositivo eletrônico - com potencial aplicação na indústria de bebidas - já foi comentado pelo *site* da revista *Nature*. (BALL, 07/01/2002)



Fig. 1 – Língua Eletrônica

(Fonte: Embrapa)

Em 2002, a revista eletrônica *ComCiência* publicou um especial sobre nanotecnologia. As reportagens relatavam o que pesquisadores, nas universidades, estavam fazendo nessa área. Por exemplo, um sistema para o encapsulamento do princípio ativo de medicamentos, que permitiria otimizar o tratamento, era o tema da tese de doutorado de um pesquisador da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Uma equipe paulista, por sua vez, estudava o processo de formação de fios de ouro constituídos de uma só fileira de átomos, que seriam úteis na fabricação de nanomáquinas. Já na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), havia pesquisas sobre nanofitas de óxido de estanho que podem ser usadas como sensores de substâncias químicas ou para aumentar a condutividade elétrica e térmica de alguns materiais. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tinham sido desenvolvidos nanocatalisadores capazes de reduzir a concentração de compostos aromáticos durante o refino do petróleo. Assim, a combustão de motores a gasolina não contaminaria o ar com tantos resíduos poluentes, que podem causar câncer e chuva ácida. (*ComCiência*, novembro/2002)

O segmento de petróleo e energia pode se beneficiar bastante das nanotecnologias. As possibilidades são muitas e incluem novos materiais resistentes à

corrosão, de alta dureza, mais leves e com maior condutividade térmica; separação água-óleo, para a recuperação avançada de petróleo; sensores para ambientes de alta temperatura e alta pressão; armazenamento e transporte de gás; e painéis solares mais eficientes. A nanotecnologia também é promessa para o avanço das células a combustível. O Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras (Cenpes) realiza projetos em nanocatálise, filmes finos e nanocompósitos. Além disso, a Petrobras já começou a articular uma rede de nanotecnologia com universidades. (SANTANNA, 2006)

Já com alguns resultados promissores, pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) trabalham com nanopartículas magnéticas. Há projetos que visam utilizá-las para limpar a água do mar atingida por derramamentos de petróleo. Neste caso, a proposta é que as nanopartículas magnéticas sejam agregadas a polímeros hidrofóbicos e que os compósitos assim produzidos sejam lançados na água contaminada. Como são hidrofóbicos, esses compósitos vão se misturar ao petróleo e, devido às propriedades magnéticas, a mistura poderá ser puxada para fora do mar com o auxílio de um ímã. (TOMA, 2004, p. 53) Outras aplicações dessas nanopartículas estão na área biomédica. Elas podem ser associadas a um medicamento e, com o uso de campos externos, ser direcionadas a uma determinada região do corpo que esteja doente, onde a droga agirá sem efeitos colaterais para regiões vizinhas saudáveis. Além de transportadoras de medicamentos, as nanopartículas magnéticas também podem ser úteis ao diagnóstico precoce e ao tratamento do câncer. Associadas a anticorpos que reconhecem células cancerosas, elas revelam a localização de tumores e suas metástases, mesmo que eles estejam em estágios iniciais. Uma vez que as nanopartículas estão ligadas às células cancerosas, graças aos anticorpos, a região do tumor pode ser submetida a um campo magnético de frequência alternada, o que provoca o aumento da temperatura na área. Esse aquecimento mata as células cancerosas, mas preserva as normais. Isso porque as células tumorais tendem a ser menos resistentes a aumentos bruscos de temperatura. (LACAVA; MORAIS, 2004, p. 73-86)

Para pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a nanotecnologia também já é uma realidade concreta. Conhecimentos na nanoescala vêm sendo aplicados ao desenvolvimento de instrumentos capazes de medir a exposição de uma pessoa à radiação ultravioleta, o que pode ajudar a prevenir o câncer de pele.

"Eles utilizaram filmes moleculares de um composto luminescente de Európio, modificado com um grupo absorvedor de radiação ultravioleta, o qual é capaz de atuar como antena. Esse grupo, após absorver a radiação UV, transfere energia para o íon luminescente de Európio, que pode ser facilmente detectado, por sua emissão característica na região do visível. Entretanto, uma pequena parte da radiação UV também provoca o dano irreversível desse composto, levando à perda gradual de sua fluorescência. Isso fornece um controle preciso do tempo de exposição, proporcionando um dosímetro simples, que pode ser montado em um simples cartão de

plástico, e utilizado por qualquer pessoa. Esse cartão poderia ser lido em equipamentos instalados, por exemplo, em postos de saúde ou de segurança nas praias, permitindo que o usuário planeje melhor o seu lazer. Tal controle poderia ser ampliado a ambientes de trabalho, hospitais, consultórios dentários e indústrias." (TOMA, 2004, p. 78)

O desenvolvimento desse dosímetro e de outros instrumentos nanotecnológicos vem sendo feito pela empresa incubada Ponto Quântico, dirigida por um pesquisador da UFPE.



Fig. 2 – Nanodosímetro UV (1) e Leitor USB (2)

(Fonte: Santa-Cruz, Nanotec 2006)

Criado, patenteado e publicado pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o Biphor é um pigmento branco para tintas à base de água e se apresenta como alternativa ao dióxido de titânio. Barato, com bom desempenho e seguro para a saúde e o meio ambiente são qualidades atribuídas ao Biphor, cuja tecnologia - que envolve nanopartículas de fosfato de alumínio - foi licenciada para a empresa Serrana, posteriormente adquirida pela Bunge. (GALEMBECK, 2006) Outra empresa para a qual a Unicamp já licenciou nanotecnologia é a Orbys. Na verdade, a Orbys foi criada para explorar comercialmente uma patente da Unicamp. (FIGUEIREDO, 2006) O produto da Orbys é o Imbrik, uma marca de nanocompósitos poliméricos de argila e látex de borracha natural. Se comparado à borracha natural pura, o Imbrik tem maior resistência, maior estabilidade térmica e menor permeabilidade a gases. Ele pode ter aplicações nas mais diversas áreas, da construção civil a artigos esportivos, passando por embalagens e brinquedos.

O setor têxtil também se beneficia da nanotecnologia. Embora tenha sido fundada há bastante tempo, em 1929, a Santista Têxtil demonstra estar interessada em novidades. Por isso, 0,5% do faturamento líquido da empresa é investido em pesquisa e desenvolvimento. Há um projeto sobre aditivos nanoestruturados realizado em conjunto com

a Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos. A idéia é produzir os chamados 'tecidos inteligentes'. Os tecidos Technopolo e Image, da linha Santista Workwear, para uniformes, já estão se beneficiando da nanotecnologia. Sem nanotecnologia, o Technopolo Light (100% algodão), destinado a camisas do tipo pólo, apresenta tempo de absorção de água de 29 segundos e tempo de secagem de 35 minutos. Com nanotecnologia, esses tempos diminuem para 1 segundo e 25 minutos, respectivamente. Quanto ao Image (100% poliéster), ele é destinado à confecção de ternos e costumes. Nesse tecido, a nanotecnologia também traz vantagens na absorção e secagem, além de melhorar o toque, que fica macio como o da lã, e aumentar a resistência a rasgos e manchas. (AREIAS, 2006)

Até um secador de cabelos tem nanotecnologia. (*A Semana C&T*, outubro/2006) Da marca Taiff, ele produz jatos de ar mais puro porque contém um revestimento interno de Nanox Clean, um material nanotecnológico desenvolvido pela empresa Nanox. Esse material apresenta propriedades bactericidas e fungicidas. Além da Nanox e da Taiff, o projeto conta com a Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara e com a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Braskem, Suzano, Oxiteno, O Boticário e Indústrias Químicas Taubaté são outros exemplos de empresas no Brasil que têm projetos em nanotecnologia.

Foram reunidos diversos exemplos que demonstram que o Brasil já entrou na corrida da nanotecnologia, embora muita gente nunca tenha ouvido falar nesse termo ou não saiba o que ele significa. Contudo, os exemplos apresentados podem levar o leitor a concluir que a cadeia pesquisa-desenvolvimento-inovação-produção-mercado flui muito bem no país, e essa conclusão é equivocada. Hoje, variadas iniciativas governamentais tentam aproximar universidades e empresas. Entretanto, existe um certo consenso de que, durante muito tempo, a política brasileira de ciência e tecnologia não esteve vinculada à nossa política industrial. Uma das conseqüências foi que a ciência e a tecnologia ficaram concentradas nas universidades e outros centros de pesquisa públicos, em detrimento das empresas. O país responde por 1,8% das publicações científicas no mundo, mas por apenas 0,2% das patentes. (AROUCA, 2006)

Outros números ilustram essa problemática. Em 2003, o setor industrial brasileiro somava em torno de 84 mil empresas com dez ou mais trabalhadores. Entretanto, somente cerca de 5 mil dessas empresas tinham atividades de pesquisa e desenvolvimento. (Ibid, 2006) No Brasil, existem mais de 56 mil pesquisadores nas universidades, contra cerca de 9 mil nas indústrias. Nos Estados Unidos, o cenário é bem diferente: há em torno de 128 mil pesquisadores nas universidades e 764 mil nas indústrias. Outro indicador está relacionado às patentes. No Brasil, são duas patentes por milhão de habitantes. No Japão, são quase mil patentes por milhão de habitantes. A condição brasileira também é distinta da observada em certos países emergentes, como a Coreia. Nesta nação da Ásia, além de haver um

maior equilíbrio na distribuição de pesquisadores entre universidades e indústrias, a quantidade de patentes por milhão de habitantes ultrapassa 770. (SANTA-CRUZ, 2006)

Contudo, ao contabilizar as publicações indexadas em nanotecnologia, de 1994 a 2004, em diferentes países, entre eles Brasil, Estados Unidos, Japão e Coréia, o professor Oswaldo Luiz Alves, da Unicamp, mostrou que os artigos, em todas as nações analisadas, eram assinados, em sua maioria, por pesquisadores nas universidades. (ALVES, setembro/2004) Como possíveis explicações para a aparente diferença entre os dados apresentados por Alves e Santa-Cruz, pode-se citar que Alves analisou somente o campo da nanociência e da nanotecnologia, enquanto Santa-Cruz, com dados do Human Development Report 2001, se refere a todo o universo de ciência e tecnologia. Além disso, destaca-se que, como Alves analisou o número de artigos científicos, já poderia se esperar que os principais autores seriam pesquisadores nas universidades, visto que os pesquisadores nas empresas, por conta do sigilo industrial, muitas vezes, são desestimulados a divulgar seus resultados em periódicos.

No Japão e nos Estados Unidos, os investimentos públicos em nano representam, respectivamente, 1,9% e 1,8% dos investimentos públicos totais em pesquisa e desenvolvimento. No Brasil, esse percentual é de 0,5%. (SALTINI, 2006) Esses dados indicam que, embora o Brasil já faça parte da corrida da nanotecnologia, Estados Unidos e Japão, mais uma vez, estão na dianteira. Contudo, não faz tanto tempo assim que os holofotes se voltaram para a nanotecnologia e ela tem uma ampla variedade de aplicações, em praticamente todos os segmentos econômicos, alguns que demandam capital inicial maior, outros que demandam capital inicial menor. Por isso, acredita-se que a nanotecnologia brasileira possa ser competitiva em pelo menos alguns setores da economia.

"Os países que perderam o bonde da revolução da informática porque não dispunham de capital para a montagem das fábricas de alta tecnologia necessárias à produção de microprocessadores de silício agora vislumbram a chance de aproveitar a onda da nanotecnologia." (KAHN, 2006, p. 92)

Essa possibilidade tem justificado os investimentos que, sobretudo a partir de 2001, vêm sendo solicitados e realizados no país em nanociência e nanotecnologia. O Brasil se tornou dependente de tecnologias em áreas estratégicas, como fármacos e microeletrônica, mas a expectativa é que a nanotecnologia nacional tenha um desenvolvimento mais positivo. E não seria a primeira vez que o país demonstraria sua capacidade científica e tecnológica. Ele já ocupou lugar de destaque no cenário mundial com a produção do álcool a partir da cana de açúcar.

A nanotecnologia vem conquistando, pouco a pouco, mais espaço na imprensa nacional. Esta afirmação é baseada na experiência do dia-a-dia profissional da autora desta dissertação, que, desde 2001, atua no ramo do jornalismo científico, já tendo passado pelas

redações das revistas *Ciência Hoje* e *Superinteressante*, da *Agência Focruz de Notícias* e do *Jornal do Brasil*. E esse espaço na imprensa brasileira não é ocupado apenas por traduções de matérias internacionais. O orçamento do Programa Nacional de Nanotecnologia já foi discutido nas páginas do jornal *O Estado de S. Paulo*. *O Rio, a Cidade!*, programa de debates da prefeitura do Rio de Janeiro exibido na TV Bandeirantes, já entrevistou professores da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) envolvidos com a nanotecnologia. Esta também foi tema de um programa *Espaço Aberto - Ciência e Tecnologia*, da Globo News, que participou, inclusive, de uma sessão da mostra Ver Ciência 2006, no Centro Cultural Banco do Brasil. Contudo, o exemplo mais emblemático talvez seja o do pesquisador da Embrapa que falou sobre seus trabalhos em nanotecnologia à apresentadora Hebe Camargo, em seu programa de auditório exibido no SBT. O fato é que o grande público está sendo alvo de informações, truncadas ou não, sobre a nanotecnologia que se pratica no Brasil, considerada algo muito novo.

Esta dissertação parte da hipótese de que a nanociência e a nanotecnologia nacionais são novas, sim, porém menos recentes do que a maioria imagina. Elas não são frutos do século XXI. Sua origem é anterior: nanotecnologia pode ser um termo atual que se refere a algo que já vem sendo feito há algum tempo.

A dissertação se insere em um programa de pós-graduação em história das ciências e das técnicas, o que causou estranhamento em muita gente, como colegas de turma, professores do curso e fontes externas. Isso porque a nanotecnologia, sobretudo no Brasil, é tida como algo tão novo que não pode já ter uma história. A melhor resposta encontrada para esse recorrente estranhamento está em um artigo de Oswaldo Luiz Alves, professor e pesquisador do Instituto de Química da Unicamp:

“A cada dia somos surpreendidos por um número admirável de novos acontecimentos que, não obstante o progresso gigantesco dos meios de comunicação, não há a menor possibilidade de acompanharmos a evolução das novas concepções e idéias, dada a profusão com que ocorrem e são veiculadas. Assim, uma visão histórica dos acontecimentos, identificação dos atores, avaliação das interconexões são tarefas das mais difíceis. Neste cenário, falta-nos o distanciamento temporal, necessário e suficiente, que possibilita uma análise dos acontecimentos em maior profundidade. Muitas vezes, num primeiro momento, o que nos resta é descrevê-los e repertoriá-los para não perdermos o passo. Parece-nos ser bem esse o quadro em que se inserem as chamadas novas tecnologias e, dentre elas, a nanociência e a nanotecnologia.” (ALVES, agosto/2004, p. 23)

Devido ao caráter de novidade atribuído à nanociência e à nanotecnologia, é notório que estudar a história de seu desenvolvimento no Brasil é uma tarefa que, no momento atual, não pode ser feita com o devido distanciamento. Contudo, se a ausência de distanciamento for considerada empecilho para o início do estudo, corre-se o risco de que informações valiosas se percam. Dessa forma, mais tarde, quando já houver o distanciamento necessário, poderão faltar dados importantes sobre o começo da história.

Iniciar o estudo da história da nanotecnologia brasileira agora, sem mais demora, talvez represente a oportunidade de, pela primeira vez, acompanhar a trajetória e a repercussão nacionais de um boom científico-tecnológico desde a sua origem. Esta dissertação pretende contribuir, modestamente, para esse estudo.

A história da nanotecnologia é contemporânea: seus protagonistas estão vivos e muitos de seus documentos estão disponíveis na internet<sup>4</sup>. Então, estudar essa história, nesse momento inicial, consiste, basicamente, em conversar com pessoas, localizar as fontes mais confiáveis, cruzar as informações e sistematizá-las, produzindo um relato o mais próximo possível da tão cobiçada e inatingível verdade. Esse trabalho de historiador é muito próximo ao do jornalista, de modo que a experiência profissional da autora desta dissertação foi aproveitada.

Quando e como surgiu a nanotecnologia no Brasil e como ela vem se desenvolvendo no país? Foi a partir desta pergunta que a autora começou a levantar informações sobre cientistas, pesquisas, resultados, iniciativas públicas e privadas. Os dados foram coletados em documentos do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep); palestras apresentadas em eventos; artigos científicos; notícias e reportagens publicadas em jornais e revistas; sites oficiais de universidades, centros ou grupos de pesquisa, e empresas, bem como sites de notícias. Também foram entrevistados pesquisadores envolvidos com nanotecnologia e foram consultados os poucos livros que contemplam a temática desta dissertação. Fontes internacionais foram usadas para traçar um breve histórico da nanotecnologia no mundo e verificar como a trajetória brasileira se insere nesse contexto global. Os resultados da análise e da sistematização de todos esses dados se encontram nas páginas a seguir.

## NOTAS

<sup>1</sup> Em um computador clássico, cada bit de informação pode adquirir só um dos valores, 0 ou 1. Em um computador quântico, o bit, ou melhor, o quantum-bit pode adquirir os valores 0 e 1 simultaneamente. O significado disso é que um computador quântico teria uma velocidade de processamento muito maior, com aplicação sem precedentes em criptografia.

<sup>2</sup> Moléculas que, em resposta a um estímulo externo, mudam de um estado para outro, de modo reversível, poderiam ser usadas para funções eletrônicas. Essa idéia não é exatamente nova. Em 1974, ela foi apresentada, pela primeira vez, por dois norte-americanos - Aviram e Ratner, conforme conta Henrique E. Toma, professor do Instituto de Química da Unicamp, em seu livro *O mundo nanométrico*.

<sup>3</sup> Fernando Galembeck e Márcia Maria Rippel, em um artigo da revista *Parcerias Estratégicas*, de agosto de 2004, definem nanocompósito polimérico como o produto da combinação entre um plástico ou borracha e um material disperso na forma de partículas que tenham, pelo menos, uma de suas dimensões na ordem de grandeza de nanômetros. Os nanocompósitos, cuja fabricação não requer equipamentos diferenciados dos usados no processamento de plásticos e borrachas, têm aplicações nas indústrias de embalagens; adesivos; tintas e vernizes; papel e celulose; automobilística;

construção civil etc.

<sup>4</sup> Não são só as informações sobre nanotecnologia que estão disponíveis na internet. Em alguns lugares do mundo, já é possível comprar nanotubos de carbono pela internet, segundo reportagem da revista National Geographic. Com estrutura rígida, porém leve, os nanotubos podem ter variadas aplicações na engenharia de materiais. Os mais otimistas cogitam que, no futuro, os nanotubos possam ser utilizados para transmitir uma corrente elétrica maior com uma dissipação de energia menor, em substituição aos fios metálicos tradicionais.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 23-40, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cggee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cggee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- ALVES, Oswaldo. *Desenvolvimento Científico da Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (janeiro de 1994 – julho de 2004)*. Campinas: 22 p., setembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7603.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7603.pdf)>. Acesso em 20/03/2007.
- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia e o Agronegócio. Entrevista à revista Fundepag & Negócios. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas26-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas26-1.html)>. Acesso em 19/06/2007.
- AMARAL, Marcelo do. *A nanotecnologia como fator estratégico de inovação competitiva no setor químico - Indústrias Químicas Taubaté*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/ma.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/ma.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- AREIAS, Manoel. *Tecidos com nanotecnologia - Santista Têxtil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mar.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mar.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- AROUCA, Maurício Cardoso. *Nanociências e Nanotecnologia: Iniciativas no Brasil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- BALL, Philip. Electronic tongue has good taste. *News@Nature*, 07/01/2002. Disponível em <[www.nature.com/news/2002/020107/full/020107-3.html](http://www.nature.com/news/2002/020107/full/020107-3.html)>. Acesso em 24/05/2007.
- DURAN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar de. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber Editora, 208 p., 2006.
- FIGUEIREDO, Eduardo S. *A Parceria Orbys-Unicamp*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/esf.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/esf.pdf)>. Acesso em 24/05/2007.
- GALEMBECK, Fernando. *Laboratório, protótipo e mercado: os caminhos da nanotecnologia*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- GONÇALVES DA SILVA, Cylon. Nanotecnologia: o desafio nacional. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 5-8, agosto/ 2004.

- Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- KAHN, Jennifer. Microrrevolução. *National Geographic Brasil*, São Paulo, n. 75, p. 86-107 junho/2006.
  - KOILLER, Belita. IN: WOLFFENBUTELL, Andréa. Ciência, substantivo feminino. *Desafios do Desenvolvimento* (revista do IPEA/PNUD), Brasília, n. 27, p. 10-14, outubro/2006.
  - LACAVA, Zulmira Guerrero Marques; MORAIS, Paulo Cesar de. Aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 73-86, agosto/2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
  - MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 9-22 agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
  - MELO, Celso Pinto de. *Nanotecnologia: Arranjos Institucionais em Países Selecionados da Ásia e Oceania* (Apresentação). São Paulo: setembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7690.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7690.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
  - NANOCIÊNCIA & Nanotecnologia. *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/2002. Disponível em <[www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano01.htm](http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano01.htm)>. Acesso em 17/03/2005.
  - NANOPARTÍCULAS e filmes poliméricos permitem captar água como fazem os escaravelhos no deserto da Namíbia (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 01/12/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_877.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_877.html)>. Acesso em 19/06/2007.
  - NANOTECHNOLOGY. *Nature Nanotechnology*: vol. 1, n. 1, p. 8-10, outubro/2006.
  - NANOTECNOLOGIA rende patentes brasileiras. *A Semana C&T* (informativo da SBPC), ed. 3, p. 10, outubro/2006.
  - RANKING dos países que participam da corrida das nanotecnologias (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 18/12/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_888.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_888.html)>. Acesso em 19/06/2007.
  - RELATÓRIO Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT, 68 p., junho/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
  - SALTINI, Marco. *Nanotecnologia e Indústria Automobilística - Anfavea*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/ms.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/ms.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
  - SANTA-CRUZ, Petrus. *Nanotecnologia como fator estratégico de inovação competitiva no setor químico - Universidade Federal de Pernambuco, Ponto Quântico Nanodispositivos e Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/psc1.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/psc1.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.

- SANTANNA, Antonio Cláudio. *Como Selecionar os Investimentos em Projetos de P&D Nanotecnológicos - Petrobras*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/acs.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/acs.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- SILVA, André César da. Nanotecnologia: uma iniciativa recomendada para a Aeronáutica. *Air & Space Power Journal em Português*, 1<sup>o</sup> semestre/2004. Disponível em <[www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2004/1tri04/silva.html](http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2004/1tri04/silva.html)>. Acesso em 31/08/2006.
- TOMA, Henrique E. Ética e humanismo em nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 87-98, agosto/2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- TOMA, Henrique E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina de Textos, 105 p., 2004.

## CAPÍTULO 2: HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA NO MUNDO

Antes de entrar no assunto central desta dissertação, que é o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, é preciso ter uma idéia geral de como o tema surgiu no mundo e, posteriormente, veio para o país. Contar a história da nanotecnologia no mundo é o objetivo deste Capítulo, dividido em duas partes.

A primeira, basicamente, aborda as idéias de Feynman e Drexler, e se baseia, especialmente, em duas fontes: o célebre discurso de Feynman, em 29/12/1959, no encontro anual da *American Physical Society*, na Califórnia, cuja tradução para o português está disponível na página da revista eletrônica *ComCiência*; e o livro *Nano*, do escritor de divulgação científica Ed Regis, publicado em português em 1997 pela Editora Rocco, com tradução para o português de Alexandre Tort (Instituto de Física/UFRJ). Destaca-se que o livro *Nano* foi escrito no estilo do jornalismo literário e se aproxima de uma biografia de Drexler.

A segunda parte do Capítulo conta a história do fulereno, forma do carbono cuja descoberta impulsionou a nanotecnologia.

### 2.1) ÁTOMOS VISUALIZADOS

Só no início do século XX provou-se definitivamente que os átomos existiam. Mas os filósofos gregos Leucipo e Demócrito já teorizavam que o universo é formado de átomos. (MARTINS, 2001, p. 2) Em 1799, o químico francês Joseph-Louis Proust observou que os elementos constituintes dos compostos químicos se combinavam sempre em proporções definidas que eram múltiplos exatos de números inteiros. Essa observação sugeria que os elementos existiam na forma de pequenas unidades de matéria. No começo da década de 1800, o químico britânico John Dalton publicou uma obra - *A New System of Chemical Philosophy* - na qual desenhou átomos e como se uniam para formar moléculas. Mas muitos cientistas continuavam incrédulos quanto à existência dos átomos. (REGIS, 1997, p. 32)

Em 1827, enquanto analisava grãos de pólen na água, Robert Brown observou muitas das partículas em movimento, sendo que esse movimento não se originava das correntes na água, mas parecia pertencer aos próprios grãos. Ele refez a experiência com matéria não-viva, como fragmentos de madeira e pedra, e encontrou o mesmo movimento, também observado quando a matéria era aquecida. Não havia nenhuma teoria para explicar o fenômeno, e Brown chegou a ser alvo de zombaria. “Na virada do século XX, o movimento browniano havia sido quase esquecido pelos físicos.” (Ibid, p. 35)

Porém, em 1905, Albert Einstein propôs que a explicação para o evento era o movimento dos átomos. Todo corpo material tem certa quantidade de energia térmica. Entre os átomos, essa energia se apresenta como “uma vibração térmica aleatória” (Ibid, p.35). Dessa forma, apesar de os átomos não serem visíveis a olho nu, eles se revelam porque

vibram e fazem com que partículas maiores dispersas no líquido adquiram movimento visível. Assim, o movimento browniano seria uma evidência da existência dos átomos. Einstein também sugeriu uma experiência para provar sua teoria: devido à vibração térmica dos átomos, as partículas suspensas no líquido se distribuiriam pelo recipiente de uma forma numérica específica, “em concordância com certo conjunto de equações matemáticas” (Ibid, p. 36).

Quem realizou a trabalhosa experiência proposta por Einstein foi o físico francês Jean Perrin, em 1908. Ele utilizou um instrumento de laboratório novo na época, o ultramicroscópio de fenda, que permitia distinguir não os átomos, mas, pelo menos, pequenas partículas individuais em movimento e fotografá-las, possibilitando sua contagem. As contagens de Perrin confirmaram as previsões de Einstein quanto à distribuição das partículas. (Ibid, p. 37) Os resultados demonstravam que os átomos eram reais, mas ainda assim havia cientistas incrédulos.

Os cientistas queriam ver os átomos, o que era impossível com a luz visível, que tem comprimento de onda muito grande. Mas seria possível com um tipo de radiação eletromagnética de comprimento de onda bem menor, do tamanho dos próprios átomos, como os raios X. O primeiro a testar essa idéia foi o físico alemão Max von Laue, que, em 1912, irradiou um cristal de sulfato de cobre com raios X. Como os raios X refletidos por uma camada de átomos estão fora de fase com aqueles refletidos pela camada seguinte mais interna, as imagens obtidas por Max von Laue não eram boas fotografias dos átomos, mas, pelo menos, confirmavam a existência deles. Caso contrário os raios X teriam atravessado o cristal em linha reta. (Ibid, p. 47)

Erwin W. Müller, físico da Penn State University, revelou, primeiramente, a estrutura atômica de um catodo de metal aquecido. Para isso, Muller desenvolveu um aparelho, chamado microscópio de emissão de campo, no qual, aplicando-se uma alta voltagem à ponta de agulha de um tubo de raios catódicos, os elétrons da superfície da ponta iam em direção a uma tela fluorescente, registrando uma imagem ampliada relacionada, visualmente, à ponta de agulha. (Ibid, p. 50) Mas, com o uso de partículas leves como os elétrons, as imagens obtidas eram borradas e, assim, não era possível distinguir os átomos individuais. Então, Müller criou um equipamento melhor, que utilizava íons, chamado microscópio de campo iônico. (Ibid, p. 51) Com esse novo microscópio, em 1955, fez uma fotografia dos átomos pela primeira vez na história. A foto virou capa da *Scientific American* (vol. 196, p. 113-122, junho/1957), com o título *Átomos visualizados*.

## 2.2) HÁ MUITO MAIS ESPAÇO LÁ EMBAIXO

"Por que não podemos escrever os 24 volumes inteiros da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete? [...] Tudo o que se precisa fazer é reduzir 25.000 vezes em tamanho todo o texto da Enciclopédia. [...] Como

escreveremos isso? Não temos nenhuma técnica padrão para fazê-lo agora. Mas deixem-me argumentar que não é tão difícil como pode parecer à primeira vista." (Apud *ComCiência*, novembro/2002)

Esta provocação foi feita pelo físico americano Richard Feynman (1918-1988), futuro prêmio Nobel (1965), após o jantar do encontro anual da Sociedade Americana de Física, realizado na Califórnia, na noite de 29 de dezembro de 1959. Na ocasião, Feynman proferiu sua famosa palestra *There's plenty of room at the bottom*, considerada por muitos autores o marco zero da nanotecnologia.

Feynman<sup>1</sup> deixou claro que não se referia à simples miniaturização. Ele estava interessado em "manipular e controlar coisas em escala atômica" (Ibid, novembro/2002). E estava convencido de que isso era possível. "Os princípios da física, tanto quanto podemos perceber, não implicam na impossibilidade de manipular coisas átomo por átomo. Não se trata de uma tentativa de violar quaisquer leis; é algo que, em princípio, pode ser feito, mas, na prática, ainda não o foi, porque nós somos grandes demais", disse Feynman (Ibid, novembro/2002).

Ele procurou enfrentar a questão de como construir dispositivos para manipular os átomos individualmente. Em linhas gerais, ele sugeriu que máquinas construiriam máquinas menores, que construiriam máquinas menores ainda e assim sucessivamente. Essa concepção teria origem na ficção científica. Em 1958, um amigo, Al Hibbs, teria apresentado a Feynman a idéia do escritor Robert A. Heinlein, autor da novela *Waldo*, de 1942, na qual um inventor criara mãos mecânicas que, sob o controle das mãos humanas, se duplicavam em mãos mecânicas cada vez menores. Al Hibbs e Feynman teriam discutido como esse processo de criar dispositivos que produzem outros dispositivos menores poderia ser usado. (REGIS, 1997, p. 148-150)

Feynman não duvidava da viabilidade da manipulação atômica e buscou incentivar a platéia a perseguir esse objetivo. Assim, concluiu seu discurso oferecendo dois prêmios de mil dólares cada: um à primeira pessoa que colocasse toda a informação da página de um livro em uma área 25 mil vezes menor, em escala linear, de modo que pudesse ser lida com um microscópio eletrônico, e outro à primeira pessoa que construísse um motor elétrico que funcionasse com apenas 1/64 de polegada cúbica. (Apud *ComCiência*, 10/11/2002)

O texto da palestra de Feynman foi publicado em fevereiro de 1960 no periódico do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech). Formado pelo Caltech em 1950, o engenheiro mecânico William H. McLellan, então na Electro-Optical Systems, em Pasadena, indústria de dispositivos de silício, leu o texto e interessou-se pelo desafio de construir o pequeno motor. (REGIS, 1997, p. 77)

Feynman já tinha sido procurado por muita gente que acreditava ter construído o tal motor, mas todos apresentavam peças grandes demais. Foi quando, em novembro de 1960,

McLellan entrou na sala de Feynman carregando uma grande caixa. Só que, para surpresa de Feynman, dentro da caixa, desta vez, estava não o motor, mas o microscópio necessário para observá-lo. (Ibid, p. 78) Assim, McLellan recebeu um cheque de mil dólares e seu motor ficou em exposição no departamento de física do Caltech. Feynman, recém-casado, teve a ingrata tarefa de contar à sua esposa que precisava gastar essa quantia para pagar o prêmio. (Ibid, p. 79) Mas não era só por causa do prejuízo financeiro que Feynman estava insatisfeito. Na verdade, o motor de McLellan era apenas um motor elétrico comum em miniatura e Feynman, quando lançou o desafio do prêmio, esperava que alguém lhe apresentasse uma tecnologia inovadora. (Ibid, p. 90)

Em 1983, no Caltech, Feynman proferiu uma palestra que era uma espécie de revisão do discurso de 1959. Na ocasião, apresentou à platéia o motor de McLellan e admitiu que, embora atraído pelas máquinas diminutas, ainda não sabia qual a utilidade delas. Feynman proferiu palestra similar mais uma vez, em 1984. (Ibid, p. 135-136)

Mais tarde, Tom Newman, estudante de pós-graduação em Stanford, que trabalhava com microscópios eletrônicos e feixes de elétrons todos os dias, venceria o segundo prêmio oferecido por Feynman. Para escrever a página de um livro em uma área 25 mil vezes menor, as letras individuais deveriam ter uma dimensão linear de apenas 50 átomos. Era necessário, então, “um programa de computador que fizesse com que o feixe de elétrons varresse para cima e para baixo em padrões formando as 26 letras do alfabeto” (Ibid, p. 142). Newman desenvolveu esse programa e escreveu a primeira página do romance *Um conto de duas cidades*, de Charles Dickens, no tamanho solicitado por Feynman. O aparelho de feixe de elétrons demorou um minuto para escrever a página. Era um feito importante, mas também desanimador, levando-se em conta quanto tempo seria gasto para escrever todos os livros de uma biblioteca.

Em novembro de 1985, Feynman recebeu de Newman, pelo correio, a página do romance de Dickens em miniatura. E Feynman, então, remeteu o cheque de mil dólares para Newman, que, curiosamente, foi procurado por um editor interessado em criar uma coleção de livros budistas de oração microscópicos. (Ibid, p. 143)

Entre o motor de McLellan (1960) e a página de Newman (1985), houve muitos acontecimentos importantes para a história da nanotecnologia. Foi nesse período, por exemplo, que a palavra nanotecnologia<sup>2</sup> foi usada pela primeira vez, por um japonês. Isto ocorreu em 1974, “quando um pesquisador da Universidade de Tóquio, Norio Taniguchi, fez a distinção entre engenharia em escala micrométrica [...] e o novo campo da engenharia, em escala submicrométrica, que estava começando a emergir” (DURAN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 16). De acordo com uma linha do tempo da nanotecnologia disponível no site do Foresight Institute, em 1974, Taniguchi publicou o artigo *On the Basic Concept of ‘NanoTechnology’*, em um periódico chamado *Proc. ICPE*.

Foi nesse intervalo também que Eric Drexler entrou em cena no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Drexler nasceu em 25 de abril de 1955, na Califórnia. Aprendeu a ler com contos de ficção científica e desde pequeno gostava de ciência, interesse herdado dos pais, principalmente da mãe. (REGIS, 1997, p. 82-83) Em 1972, leu *Os limites do crescimento*, livro escrito por professores do MIT que o influenciaria bastante. No livro, os autores traçam as inter-relações, em função do tempo, de cinco variáveis: população, produção agrícola, recursos naturais, produção industrial e poluição. Concluem que, sem mudanças econômicas e sociais profundas, a civilização humana entraria em colapso em curto prazo. (Ibid, p. 88) Drexler ficou impressionado com a conclusão do livro e logo indicaria uma solução: a raça humana precisava mudar de território e colonizar o espaço. E foi com esse objetivo de promover a colonização espacial que ele se candidatou a uma vaga no MIT.

Nessa época, Drexler tinha a aparência de um artista: usava jeans, camiseta, barba e rabo de cavalo. Quando chegou ao MIT, como estudante de graduação, em 1973, época de glórias da exploração espacial, Drexler interessava-se, principalmente, por foguetes de combustível químico, estações espaciais e veículos de lançamento. (Ibid, 42-43)

Por causa desse interesse, Drexler entrou em contato com o professor de física Gerard K. O'Neill, de Princeton, o pioneiro a apresentar cientificamente a idéia de colônias espaciais. Depois de apenas um ano no MIT, Drexler apresentou seu primeiro trabalho científico, intitulado *Sobre o abastecimento de suprimentos para uma colônia espacial a partir da matéria encontrada em asteróides*, durante uma conferência organizada por O'Neill. (Ibid, p. 44) Drexler tornou-se o principal líder de trabalhos espaciais do MIT, onde fundou uma sociedade na área, o Space Habitat Study Group. (Ibid, p. 45)

Mas, naquela época, também acontecia a revolução da engenharia genética, que teria influenciado Drexler. À noite, na biblioteca de ciências do MIT, ele leu sobre as técnicas de engenharia genética e, assim, começou a cultivar suas idéias sobre a nanotecnologia molecular. Ele imaginava que a manipulação de moléculas de DNA, além de produzir insulina e vacinas, permitiria também montar um computador<sup>3</sup>. Drexler pretendia criar computadores na escala dos nanômetros, a partir de fenômenos físicos envolvendo o DNA e a síntese de proteínas artificiais, em um sistema não-biológico de auto-montagem.

Drexler propunha, inicialmente, utilizar máquinas já disponíveis - as proteínas -, que seriam projetadas de modo a executar funções determinadas. Ele destacava a propriedade de a seqüência de aminoácidos de uma proteína determinar a forma tridimensional adquirida pela molécula. Assim, manipulando-se estrategicamente o DNA e os ribossomos, as proteínas poderiam ser projetadas de tal modo que se dobrariam e se encaixariam umas nas outras da maneira desejada para formar máquinas moleculares. Estas construiriam outras máquinas moleculares ainda melhores até que algumas seriam tão perfeitas, os

montadores, a ponto de manipularem átomos individuais, posicionando-os com precisão para a montagem de qualquer coisa. O problema é que o fenômeno de dobradura das proteínas era bem mais imprevisível do que Drexler gostaria: não se sabia quais seqüências correspondiam a que formas.

Em 1977, Drexler obteve o grau de bacharel em ciências interdisciplinares. Logo em seguida começou o mestrado. Embora não tirasse as notas mais altas, conseguiu uma bolsa de pós-graduação da National Science Foundation, a primeira concedida na área de industrialização espacial. (Ibid, p. 59) Apesar de suas idéias sobre nanotecnologia molecular, ele fez mestrado no campo da tecnologia aeroespacial. Sob orientação de Walter Mark Hollister, professor de aeronáutica e astronáutica do MIT, Drexler trabalhou com um novo tipo de propulsão, a vela solar. Sua dissertação, defendida em 1979, descrevia as especificações e o processo de produção dessa vela.

Tudo levava a crer que Drexler continuaria suas pesquisas espaciais, mas não foi o que aconteceu. Isso porque ele já estava convencido de que o avanço dessas pesquisas também dependia da nanotecnologia. (Ibid, p. 63) Disposto a se dedicar à nanotecnologia molecular, Drexler foi quase um autodidata em química. Na verdade, contou com a ajuda de sua namorada e futura esposa, Chris Peterson, formada em química também no MIT.

Certa noite, em novembro de 1979, na biblioteca, Drexler esbarrou em um recente artigo sobre microtecnologia, que falava da palestra *There's plenty of room at the bottom*, ministrada por Feynman em 1959. “Isso foi um choque para Eric Drexler, que vinha pensando o tempo todo que a idéia de trabalhar com átomos e construir coisas com eles era sua criação particular e individual.” (Ibid, p. 67) Agora, ele descobrira que Feynman já havia tido essa idéia duas décadas antes. E Drexler tinha apenas quatro anos de idade quando Feynman ministrou a tal palestra.

Pouco depois, sabendo do desejo de Drexler de produzir computadores a partir de proteínas, Chris mostrou a ele um outro artigo segundo o qual empresas planejavam usar proteínas como componentes de circuitos de computador. (Ibid, p. 80-81) Novamente, alguém tinha tido e publicado antes a mesma idéia de Drexler.

Ele demorou um ano para escrever seu artigo, que tinha apenas quatro páginas. Intitulado *Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation*, o artigo foi publicado em setembro de 1981 no periódico *Proceedings of the National Academy of Sciences* (vol. 78, n. 9, p. 5275-5278). O resumo do trabalho é bastante otimista:

“O desenvolvimento da habilidade para projetar moléculas de proteínas abrirá um caminho para a fabricação de dispositivos com especificações atômicas complexas, portanto superando obstáculos enfrentados pela microtecnologia convencional. Esse caminho envolverá a construção de máquinas moleculares capazes de posicionar grupos reativos com precisão atômica. Isso poderia levar a grandes avanços em dispositivos computacionais e na

habilidade de manipular materiais biológicos. A existência desse caminho tem implicações para o presente.” (DREXLER, 1981, p. 5275)

Apesar desse tom entusiasmado, ao longo do texto, é possível notar a cautela do autor, com muitos verbos no futuro do pretérito (would).

“Ainda assim, era espantoso que um estudante de 26 anos do MIT estivesse apresentando, embora de modo conjectural e especulativo, especificações de uma nova tecnologia completa, que manipularia átomos e moléculas e fabricaria, com custos em trabalho que 'tendiam a zero', qualquer coisa fisicamente possível.” (REGIS, 1997, p. 108)

Contudo, a primeira nanoferramenta a obter sucessos práticos nada tinha a ver com a engenharia de proteínas cogitada por Drexler. Talvez lembrasse de leve as mãos mecânicas imaginadas por Feynman, mas dispensava a seqüência de máquinas cada vez menores. Tratava-se do microscópio de varredura por tunelamento. Em 1982, o artigo *Surface studies by scanning tunneling microscopy*, publicado no periódico *Physical Reviews Letters* (vol. 49, n. 1, p. 57-61), apresentava a nova técnica, desenvolvida pelos físicos Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, do laboratório de pesquisas da IBM em Zurique. No microscópio de varredura por tunelamento, uma finíssima ponta de agulha (sonda) ‘sente’ o contorno do objeto e envia sinais a partir dos quais é possível construir uma imagem daquele objeto.

“Microscópios de varredura por tunelamento podem revelar estruturas atômicas de superfície que são inobserváveis com microscopia óptica ou eletrônica. Diferentemente de outras técnicas de microscopia, as quais se baseiam em partículas livres, microscópios de varredura por tunelamento monitoram as nuvens eletrônicas em torno da amostra. Mudanças locais na corrente de tunelamento entre a superfície e a sonda do microscópio são medidas para criar uma imagem tridimensional da superfície. Os movimentos da sonda são controlados por um tripé piezoelétrico de suporte. A finura da ponta da sonda é crucial para uma alta resolução.” (BINNING; ROHRER, 1985, p. 50)

A invenção tornaria possível ver as superfícies átomo por átomo. Mas, às vezes, a agulha, em vez de apenas sentir o contorno, mergulhava na amostra e, acidentalmente, mudava alguns átomos de posição. Haveria, portanto, a possibilidade de mover os átomos não por acidente, mas com intencionalidade. (REGIS, 1997, p. 188) Rohrer e Binnig ganharam o prêmio Nobel de Física em 1986. Após os microscópios de varredura por tunelamento, vieram outros, como os microscópios de força atômica, que, em vez de medir a corrente de tunelamento entre átomos da agulha e da amostra, medem a força entre eles. Na verdade, a microscopia de tunelamento foi a precursora da família de microscopia de varredura por sonda, que hoje reúne mais de 12 técnicas. (DURAN; MATTOSO; MORAIS 2006, p. 112)

Nos anos 80, Drexler já desfrutava de certa fama no MIT e fazia várias palestras, dentro e fora da instituição. Carl Feynman, filho de Richard Feynman, compareceu a uma

delas. Carl e Drexler tornaram-se amigos. E, certa vez, Carl levou seu pai a uma festa na casa de Drexler, mas este e Richard não teriam se entendido muito bem<sup>4</sup> (REGIS, 1997, p. 113).

Em 1983, o texto de Drexler no *Proceedings of the National Academy of Sciences* foi citado em artigos de duas revistas de prestígio – *Nature* e *Science* – que falavam sobre projetar proteínas por engenharia. Porém, nenhuma proteína projetada por engenharia dera origem a uma máquina molecular, nos moldes imaginados por Drexler. As discussões teóricas continuavam. Criado por Drexler e Chris, no MIT, em 1985, o Nanotechnology Study Group promovia encontros regulares, palestras, conferências e seminários e publicava boletins, mas nada ainda fora dito sobre o desenvolvimento da tecnologia na prática. (Ibid, p. 138)

Drexler e Chris Peterson, então, mudaram-se para a Califórnia, para onde também seguiram outros cientistas fortemente ligados à idéia da nanotecnologia. Já na Califórnia, Drexler publicou o livro *Engines of Creation*, de 1986, um relato popular de suas idéias, e, juntamente com Chris, fundou o Foresight Institute, entidade sem fins lucrativos para divulgar e orientar o desenvolvimento da nanotecnologia. (Ibid, p. 157) Após ter lido *Engines of Creation*, Barry Silverstein entrou em contato com Drexler. Silverstein fizera fortuna com a televisão a cabo e outros empreendimentos e tinha o hábito de doar dinheiro para vários tipos de causas nobres. Então, com o objetivo de fomentar a nanotecnologia, começou a enviar regularmente cheques para Drexler. (Ibid, p. 181-182)

Em Stanford, em 1988, Drexler ministrou seu primeiro curso sobre nanotecnologia, intitulado *Nanotechnology and Exploratory Engineering*, com duração de dez semanas e cerca de 50 alunos participantes. Stanford também foi palco da primeira conferência nacional sobre nanotecnologia promovida pelo Foresight Institute. Esta entidade também passou a oferecer o Prêmio Feynman, dirigido a pesquisadores cujos trabalhos contribuíssem para o desenvolvimento da nanotecnologia molecular. O primeiro ganhador do prêmio, em 1993, foi Charles Musgrave, do Caltech. (*Foresight Institute*)

A nanotecnologia molecular era um exercício de imaginação. Não se podia extrapolar o macromundo para a nanoescala. Para projetar uma engrenagem nanométrica, não bastava reduzir muitas vezes uma engrenagem macroscópica. Era preciso levar em conta uma série de fenômenos físicos envolvidos. Alguns fenômenos na nanoescala não existem no macromundo. Na nanoescala, os átomos são os materiais de construção, o que tem vantagens e desvantagens. Como vantagem, destaca-se que todos os átomos de um determinado elemento são absolutamente idênticos. Como desvantagens, um átomo não pode ser cortado nem adquirir uma forma muito diferente daquela que ele já tem. Além disso, os átomos estão sujeitos a forças de atração e repulsão não observadas no macromundo.

Na nanoescala, Drexler começou projetando um rolamento, dispositivo mecânico simples e fundamental que permite o movimento entre duas partes de uma máquina.

(REGIS, 1997, p. 161) Como os átomos e os campos de força que os cercam são cheios de protuberâncias, essa tarefa parecia impossível. Proposta por Drexler, a engenharia dos rolamentos nanométricos requeria que: todos os pontos de ligação de todos os átomos dos dois anéis estivessem ocupados por outros átomos; os dois anéis não estivessem em contato físico; as colinas do anel externo não se encaixassem nos vales do anel interno. Drexler escreveu um artigo técnico sobre esses rolamentos, mas o trabalho supunha capacidades tecnológicas ainda não disponíveis. O artigo *Nanomáquinas: engrenagens e rolamentos atômicamente precisos* foi publicado nos anais de uma conferência, realizada em 1987, intitulados *IEEE Micro Robots and Teleoperators Workshop*. (Ibid, p. 164)

Drexler também projetou um nanocomputador, que não era baseado na mecânica quântica, e sim uma máquina mais clássica, com hastes, molas e diais moleculares. (Ibid, p. 171) A dificuldade principal do projeto era a vibração térmica. Mas, se o DNA podia armazenar, copiar e transmitir informações, um nanocomputador também poderia, dizia-se em defesa do projeto de Drexler.

“Uma certa fração dos pesquisadores nas ciências físicas e engenharia assumem que, como sistemas de máquina molecular existem (e são poderosos) na natureza, a proposta de que os artificiais poderiam algum dia ser construídos, e ser até mesmo mais poderosos, é um tanto óbvia.” (PETERSON, 2004)

Em 1988, Drexler publicou o artigo *Hastes lógicas e ruído térmico nos nanocomputadores mecânicos*, no livro *Molecular Electronic Devices*. Agora, aos projetos dos rolamentos moleculares, somava-se o do nanocomputador:

"Esta coisa poderia realmente ser feita. Você poderia na verdade construir um montador desde que tivesse um número suficiente dessas engrenagens, rolamentos e nanocomputadores – e desde que, é claro, tivesse um montador... ou alguma outra maneira de montar os componentes." (REGIS, 1997, p. 180)

As idéias de Drexler sobre a nanotecnologia pareciam muito especulativas e o fato de ele não ter grau de doutor contribuía para que boa parte da comunidade científica não desse credibilidade a suas idéias. Ele pretendia apresentar como tese de doutorado um documento com equações, cálculos numéricos, leis de escala, curvas de taxa de deformação elástica, diagramas de várias estruturas atômicas precisas etc. (Ibid, p. 206) Este era o material que poderia convencer seus pares sobre a viabilidade da sua nanotecnologia. Seu orientador seria Marvin Minsky, do departamento de engenharia elétrica e ciência da computação do MIT, que escrevera o prefácio de *Engines of Creation*. A idéia era Drexler obter o grau de doutor interdepartamental no departamento de Minsky. Mas Drexler não queria prestar os exames exigidos, visto que não almejava obter o título em engenharia elétrica e ciência da computação, mas um grau interdepartamental. Na verdade, o currículo de Drexler não tinha praticamente nada a ver com engenharia elétrica e ciência

da computação. Para Drexler, matricular-se naquele departamento ou em qualquer outro era apenas uma maneira de formalizar seu doutorado. Mas a questão é que a tese proposta por Drexler era muito alternativa para o departamento de engenharia elétrica e ciência da computação, que acabou não o aceitando como aluno. (Ibid, p. 209)

Drexler teve seu projeto de tese aceito no Media Lab, que não era parte da escola de engenharia do MIT, e sim pertencia à escola de arquitetura. Era uma espécie de segredo o fato de Drexler está fazendo o doutorado lá. Sua tese, intitulada *Máquinas e manufatura moleculares com aplicações à computação*, era diferente. Mas poucos professores da banca examinadora leram o trabalho. (Ibid, p. 236) A defesa aconteceu em 9 de agosto de 1991. Os críticos de Drexler do departamento de engenharia elétrica e ciência da computação não compareceram. A defesa transcorreu normalmente. Ninguém fez objeções sérias. (Ibid, p. 238) Em 18 de setembro de 1991, Drexler recebeu oficialmente do MIT o grau de doutor em filosofia no campo da nanotecnologia molecular, o primeiro nesse campo concedido no mundo. Curiosamente, o grau foi obtido em uma instituição que nunca oferecera cursos nesse campo e Drexler estivera matriculado em uma escola de arquitetura.

Ainda em 1991, Drexler ajudou sua esposa Chris Peterson e a escritora de divulgação científica Gayle Pergamit a produzirem *Unbounding the Future*, um segundo relato ainda mais popular sobre a nanotecnologia, mas esse livro não fez tanto sucesso quanto *Engines of Creation*. (Ibid, p. 243) Faltava a Drexler escrever um texto técnico, pois os seus relatos populares não eram bem vistos pela comunidade científica.

Então, em 1992, Drexler publicou *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, um texto técnico baseado em sua tese de doutorado. O livro fazia análises química, física e computacional e apresentava uma série de equações, tabelas, gráficos e diagramas. (Ibid, p. 239) Apresentava também o projeto de um sistema (montador) capaz de converter moléculas orgânicas em objetos macroscópicos.

“O que na verdade ele fazia era pegar uma torrente de matéria-prima e, em menos de uma hora, transformá-la em objetos reais, físicos e sólidos. Objetos normais que poderiam ser utilizados na vida real. Esta, finalmente, era a máquina molecular de manufatura de Drexler, a fábrica doméstica, a pequena caixa-preta que fabricaria para você, átomo por átomo, tudo o que você desejasse. [...] Um utensílio que, se for ligado e abastecido com matérias-primas, e se forem apertados os botões corretos, produzirá qualquer objeto do catálogo – por exemplo, uma televisão, uma máquina de lavar pratos ou uma cópia atômica perfeita dele mesmo.” (Ibid, p. 240)

Essa é a leitura que o escritor de divulgação científica Ed Regis fez do sistema idealizado por Drexler, algo parecido com ficção científica, embora saído de um livro considerado técnico. Mais de nove mil cópias de *Nanosystems* já haviam sido vendidas um ano após sua publicação. Ainda em 1992, *Nanosystems* foi eleito o melhor livro sobre ciência da computação pela Association of American Publishers. Em 1993, Drexler ganhou o Kilby Young Innovator Award. (Ibid, p. 247) Em 1994, foi adotado pela primeira vez como

livro-texto de um curso universitário. O curso era ministrado pelo professor Ari Requicha, dos departamentos de Ciência da Computação e Engenharia Elétrica da University of Southern Califórnia. (*Foresight Institute*)

Como se vê, a década de 1990 foi produtiva para Drexler. Além de obter o grau de doutor e publicar *Nanosystems*, ele viu o centro de pesquisas da Xerox realizar um projeto de nanotecnologia computacional, cujo objetivo era fazer simulações no computador das engrenagens, rolamentos e outros dispositivos moleculares projetados por Drexler.

"Uma simulação que dava certo pairava sobre seus projetos abstratos como um pouco de verdade e substância, uma espécie de semi-existência. Afinal de contas, se essas estruturas apareciam na tela e funcionavam nas simulações mecânicas moleculares, então não poderiam ser descartadas como simples faz-de-conta, ou como alucinações da imaginação, ou como 'ficção científica'." (REGIS, 1997, p. 230)

Na verdade, a década de 1990 foi produtiva para a nanotecnologia como um todo. Foi quando uma dupla da IBM provou que os átomos podiam ser tocados e manipulados mecanicamente, embora, desde o advento da mecânica quântica, fossem concebidos como objetos difusos. Usando um microscópio de varredura por tunelamento, Donald Eigler e Erhard Schweizer escreveram IBM com 35 átomos individuais de xenônio sobre uma placa de níquel. O feito - publicado em 5 de abril de 1990 na *Nature* (vol. 344, p. 524-526) - inspirou outras experiências similares: cientistas escreveram  $E = mc^2$ , paz etc. Em 15 de agosto de 1991, foi publicado outro feito de Eigler na *Nature* (vol. 352, p. 600-603): ele desenvolveu um comutador atômico. Este dispositivo, variando a voltagem da ponta da agulha de um microscópio de varredura por tunelamento, fazia um átomo de xenônio oscilar entre duas posições: sobre uma placa de níquel e na ponta da agulha. A década de 1990 também foi marcada pelo lançamento na Inglaterra da revista *Nanotechnology* e pelos investimentos em nanotecnologia feitos no Japão.

Em junho de 1992, Drexler proferiu depoimento sobre a nanotecnologia molecular perante o Comitê do Senado para o Comércio, Ciência e Transporte, do Subcomitê para a Ciência, Tecnologia e Espaço, presidido por Al Gore. Drexler foi chamado para apresentar sua idéia de produzir objetos pela manipulação dos átomos e moléculas individualmente, encaixados de forma precisa em um processo de montagem totalmente automatizado feito por robôs invisíveis (os montadores). Depois de ouvir o discurso de Drexler, Al Gore perguntou quanto tempo demoraria para que a nanotecnologia desse frutos, caso ela recebesse o mesmo tipo de apoio governamental e privado dado à biotecnologia. Drexler respondeu que já haveria aplicações importantes dentro de 15 anos. (REGIS, 1997, p. 18)

A primeira empresa nanotecnológica - a Zyvex - foi fundada em 1997, no Texas, com o objetivo de construir um sistema capaz de produzir materiais e estruturas com precisão atômica, colocando cada átomo no lugar desejado. Ao que tudo indicava, ações

práticas em nanotecnologia se tornariam cada vez mais freqüentes, o que levou o Foresight Institute a publicar, em 1999, uma espécie de código ética para pesquisas nesse campo. (PETERSON, 2004)

O prazo de 15 anos sugerido por Drexler termina em 2007 e as promessas mais radicais ainda não se concretizaram.

"A nanotecnologia prometia mudanças grandes e amplas: um final para o envelhecimento; um adiamento radical da morte; condições de extrema abundância e prosperidade; uma libertação da fome e da necessidade. [...] E ela prometia todos esses milagres por meio das virtudes de entidades semimitológicas, os 'montadores', que não apenas não existiam ainda, mas para cuja construção não havia meios testados disponíveis." (REGIS, 1997, p. 125)

Embora não seja nos moldes idealizados de Drexler, a nanotecnologia – com uma abordagem, muitas vezes, bem distante da dos montadores – tem conquistado cada vez mais as páginas das revistas científicas. Prova disso é que, devido ao aumento do número de artigos sobre esse tema publicados na *Nature* ao longo dos últimos 20 anos, o Nature Publishing Group decidiu lançar, em outubro de 2006, a *Nature Nanotechnology*. (*Nature*, vol. 443, 05/10/2006)

Mas não são apenas as revistas científicas que estão abrindo mais espaço para a nanotecnologia. O tema também vem aparecendo no noticiário voltado ao público não especialista. São notícias de vários tipos. Por um lado, cientistas da Universidade de Rice, em Houston, criaram, não faz muito tempo, o protótipo de um carro com dimensões de quatro nanômetros de comprimento por três nanômetros de largura, cujas rodas são esferas de carbono que permitem que o veículo se mova para frente e para trás. (*Rice University*, 2005) Por outro lado, o spray Magic Nano, para limpeza de vidros e cerâmicas, foi apontado, na Alemanha, como o causador de problemas de saúde em dezenas de pessoas, que apresentaram dor de cabeça, febre, tosse e até edema pulmonar após contato com o produto, em março de 2006. (THAYER, 2006) Esse spray, da marca Kleinmann GmbH, foi divulgado na imprensa como o primeiro produto nanotecnológico recolhido do mercado. Porém, meses depois, análises do Instituto Federal para Avaliação de Risco da Alemanha concluíram que o produto não continha nanopartículas, embora se chamasse Magic Nano – prova de que os rótulos contêm mais marketing do que informações técnicas. (Capítulo 10)

Apesar de, às vezes, aparecerem notícias contrárias à nanotecnologia, a maior parte do noticiário parece ser a favor da nova tecnologia. Uma pesquisa analisou 350 artigos publicados em jornais dos Estados Unidos e de outros países, entre 1988 e 2004. Verificou-se que 45,95% dos textos se enquadravam na categoria “tom a respeito dos benefícios e dos riscos da nanociência e da nanotecnologia não discernível”; 30,92% na categoria “os benefícios pesam mais que os riscos”; 10,98% na categoria “riscos e benefícios precisam ser pesados, mas incerto se riscos menores ou benefícios maiores”; 9,54% na categoria “os

riscos pesam mais que os benefícios”; e 2,60% na categoria “limites técnicos para o progresso tecnológico em nanociência e nanotecnologia; nenhum limite associado às implicações éticas, legais e sociais”. (STEPHENS, 2005, p. 187)

Destaca-se, por fim, que os protagonistas da história da nanotecnologia são nossos contemporâneos e continuam em ação. O próprio Drexler ocupa hoje o cargo de Chief Technical Advisor da empresa Nanorex, que oferece ferramentas de modelagem computacional específicas para o desenvolvimento e a análise de nano-sistemas.

### **2.3) OBSERVAÇÕES SOBRE FORMA E CONTEÚDO**

A maioria dos textos que se propõe a contar a história da nanotecnologia começa com a palestra de Feynman em 1959. (MARTINELLI, 2004; CAPOZZOLI, 2002) Não resta dúvida de que esse discurso foi um marco importante, mas é necessário lembrar que toda a discussão sobre a existência ou não dos átomos, desde Leucipo e Demócrito, também faz parte dessa história. Afinal, se os átomos não fossem reais, não faria o menor sentido discutir a viabilidade da manipulação atômica.

Nesse sentido, Elson Longo, do Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos (CMDMC), argumenta que a nanociência não é uma ciência nova, pois, há 2.400 anos, povos já produziam objetos com ouro e prata coloidais, nanopartículas utilizadas para obter cores diferentes em louças (Apud ROMERO, 2006). Outro exemplo vem da China: há milênios, os chineses inventaram o nanquim, uma tinta constituída de nanopartículas de carvão suspensas em uma solução aquosa e estabilizadas pela adição de goma arábica, que impede a agregação das nanopartículas. (MARTINELLI, 2004)

A concepção de Longo é apresentada no DVD *Nanotecnologia: o futuro*, lançado agora em abril de 2006 pelo CMDMC, em parceria com a Oz Produtora e com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp). O DVD é o primeiro de uma série de cinco documentários com os objetivos de caracterizar a nanotecnologia, mostrar seus aspectos históricos e sua evolução e divulgar as principais pesquisas em desenvolvimento na área.

Iniciativas como essa ainda são relativamente raras no país. O primeiro livro brasileiro de divulgação científica sobre a nanociência e a nanotecnologia foi publicado em 2004 pela editora Oficina de Textos, de São Paulo. Intitulada *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*, a obra foi escrita por Henrique E. Toma, pesquisador do Laboratório de Química Supramolecular e Nanotecnologia da Universidade de São Paulo (USP). Juntamente com Koiti Araki, do mesmo laboratório, Toma também escreveu o artigo *Nanociência e Nanotecnologia*, publicado na edição de julho de 2005 da revista *Ciência Hoje*. Neste artigo, eles apresentam avanços científicos e perspectivas que se abrem no campo da nanotecnologia.

"Veremos, nas próximas décadas, o surgimento de uma nova eletrônica e das máquinas moleculares. Poderá ser, portanto, a era da nanotecnologia molecular, na qual o homem estará projetando e construindo nanomáquinas tendo como exemplo a própria natureza, dona de tecnologias nanométricas aperfeiçoadas ao longo de bilhões de anos. [...] É possível vislumbrar um quadro evolutivo das possíveis aplicações da nanotecnologia em um futuro próximo, principalmente nos setores de química e materiais, energia, medicina e saúde, automotiva, eletrônica e informática." (ARAKI; TOMA, 2005, p. 25 e 31)

Esses trechos demonstram que, embora aplicações nanotecnológicas fantásticas já fossem cogitadas pelo menos desde o final da década de 1950, ainda hoje o discurso permanece especulativo sobre o futuro. Já existe uma variedade de nanopartículas, mas os montadores de Drexler, capazes de produzir virtualmente qualquer coisa, continuam no mundo das idéias. Assim, em meio a tantas especulações, a história da nanotecnologia vai sendo escrita com um quê de literatura de ficção científica.

O próprio Drexler, ciente de que suas idéias poderiam não ser respeitadas se soassem demasiadamente futurísticas, chegou a pedir aos mais entusiasmados com a nanotecnologia molecular diminuíssem a dose de empolgação.

"Gostaria de enfatizar que fui convidado a dar palestras na série de colóquios sobre ciências físicas no centro principal de pesquisas da IBM e na Xerox PARC, e assim por diante, portanto estas idéias estão sendo levadas a sério por pessoas tecnicamente sérias, mas é uma reação confusa. Queremos que esta reação seja tão positiva quanto possível, assim peço a todos que façam o favor de manter baixo o nível de culto e besteiras, e até que se abstenham de falar a respeito de conseqüências fantasiosas, que são de fato verdadeiras e tecnicamente defensáveis, mas não soam desta maneira. As pessoas precisam pensar sobre as conseqüências de longo prazo gradualmente; não se começa pensando assim." (Apud REGIS, 1997, p. 205-206)

O historiador da ciência que se propuser a estudar um tema contemporâneo como a nanotecnologia terá a facilidade de poder coletar informações pessoalmente dos cientistas. Mas, nesse contato, o historiador precisa ficar atento para não se deixar contaminar pelo otimismo exagerado daqueles diretamente envolvidos no processo.

No *site* do Foresight Institute, uma seção dedicada à história da nanotecnologia disponibilizou três artigos: *Nanotechnology: From Concept to R&D Goal* (1995); *Molecular Nanotechnology: the Next Industrial Revolution* (2000); e *Nanotechnology: from Feynman to the Grand Challenge of Molecular Manufacturing* (2004). Todos são de autoria de Chris Peterson, ex-esposa de Drexler.

Os artigos perpassam a história, mas são recheados de elogios às potencialidades da nanotecnologia, muito provavelmente devido ao forte envolvimento emocional da autora com o tema. Em *Nanotechnology: From Concept to R&D Goal*, com redação bem informal e cunho quase publicitário, Chris faz uma crítica à demora da comunidade científica para aceitar a viabilidade e as vantagens representadas pela nanotecnologia. Já em

*Nanotechnology: from Feynman to the Grand Challenge of Molecular Manufacturing*, a autora apresenta dois significados distintos para o termo nanotecnologia: "construção com precisão atômica por meio do uso de sistemas de máquinas moleculares" e "nova ciência e tecnologia que se beneficia de propriedades operando na nanoescala". A primeira definição, também chamada de nanotecnologia molecular, foi introduzida por Feynman e defendida por Drexler. A segunda, mais próxima da realidade, em curto-prazo, se refere à maioria dos desenvolvimentos que já aconteceram no campo da nanotecnologia. (PETERSON, 2004)

Outra obra sobre a história da nanotecnologia é o livro *Nano: The Emerging Science of Nanotechnology*, publicado no Brasil pela editora Rocco, em 1997. O autor é o escritor de divulgação científica Ed Regis. Ao se debruçar sobre um tema contemporâneo, Regis lançou mão de métodos compartilhados entre a história e o jornalismo, como entrevistas e reportagem documental. Apesar de ter travado contato com Drexler, Regis produziu um relato mais imparcial que o de Chris Peterson.

Para quem se dedica à história da ciência contemporânea, uma questão a ser considerada é o uso da internet. As cartas trocadas pelos cientistas no passado se transformaram em ricas fontes de informação para os historiadores. Porém, hoje, na era do e-mail, tais informações acabam se perdendo. Dessa forma, o advento da internet torna difícil para o historiador medir a real influência do trabalho de um cientista sobre o do outro.

É preciso que se discuta mais sobre como produzir relatos da história da ciência contemporânea. Em pleno século XXI, os fatos científicos acontecem de forma cada vez mais rápida e simultânea. Os historiadores da ciência devem estar preparados para preservar a memória desses acontecimentos e analisar seu contexto e extensão. Nesse sentido, a imprensa, especialmente o jornalismo científico, pode ser um importante aliado, como demonstra o trabalho realizado pelo escritor de divulgação científica Ed Regis.

#### **2.4) A CURIOSA DESCOBERTA DOS FULERENOS**

No mesmo mês e ano em que Tom Newman venceu o segundo desafio colocado por Feynman, outro fato mais marcante aconteceu na história da nanotecnologia: a descoberta dos fulerenos. Em artigo publicado na edição de 14 de novembro de 1985 da revista *Nature* (vol. 318, p. 162-163), cientistas na Universidade de Rice, no Texas, Estados Unidos, liderados pelos químicos Harold Kroto, Richard Smalley e Robert Curl, anunciaram ter descoberto uma nova forma de carbono, o buckminsterfulereno ( $C_{60}$ ) – uma molécula de 60 átomos de carbono com a forma de bola de futebol que pode vir a ter as mais diferentes aplicações na química e em outras áreas. O trabalho de Smalley (falecido em 2005), Kroto e Curl abriu caminho para as pesquisas de ponta que vêm sendo realizadas com nanotubos.

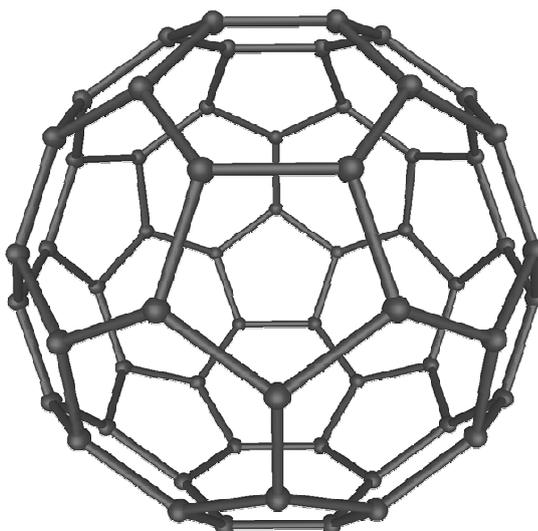


Fig. 3 – A estrutura do buckminsterfulereno ( $C_{60}$ )

(Fonte: Wikipedia)

Escrito dessa forma o feito parece frio e sem graça, quando, na verdade, a descoberta do  $C_{60}$  e tantos outros episódios da história da ciência se prestariam a um relato com estilo literário próximo ao do romance. Essa descoberta ilustra bem como os caminhos trilhados pelos cientistas nem sempre são tão objetivos quanto se imagina. Às vezes, um grande feito científico sai de onde menos se espera, quando os pesquisadores estão perseguindo objetivos que pouco ou nada têm a ver com esse feito grandioso. Foi assim com os fulerenos. Se os jornalistas dessem mais atenção à história da ciência, em vez de ficarem presos simplesmente aos resultados finais das pesquisas, produziriam textos não só mais ricos de conteúdo, mas também mais interessantes para o leitor. Como exemplo de mau jornalismo científico, pode-se citar matéria publicada no *Evening Argus*, jornal local de Brighton, na Inglaterra, sobre a descoberta dos fulerenos. Entre outros absurdos, a matéria dizia que, segundo a pesquisa conduzida por Kroto, Smalley e Curl, as formas mais primitivas de vida poderiam ter sido criadas no espaço. (O'DRISCOLL, 1996)

## 2.5) AS FORMAS ATÉ ENTÃO CONHECIDAS DO CARBONO

Tendo como representante mais famoso o  $C_{60}$ , os fulerenos, como o  $C_{70}$  e o  $C_{540}$ , entre outros, são moléculas cuja estrutura é um poliedro de átomos de carbonos nos vértices, com faces pentagonais e hexagonais. Antes da descoberta dos fulerenos, eram conhecidas “seis formas cristalinas de cadeias carbônicas infinitas: grafitas  $\alpha$  e  $\beta$ , diamante, lonsdaleíta (diamante hexagonal), caoíta e carbono(IV)”. (ROCHA-FILHO, 1996, p. 8)

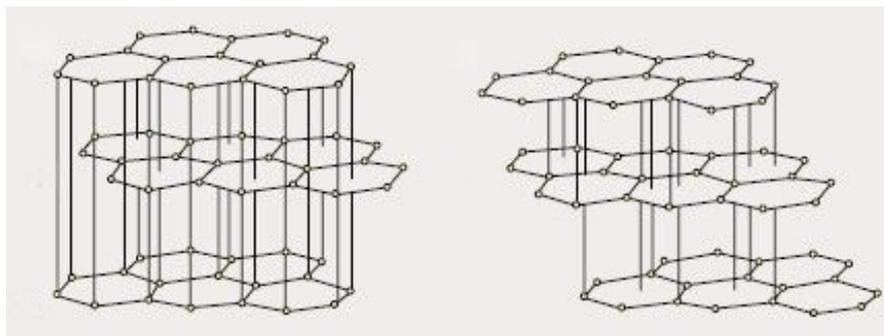


Fig. 4 - Grafita  $\alpha$  (à esquerda) e Grafita  $\beta$  (à direita)

(Fonte: Rocha-Filho, *Química Nova na Escola*)

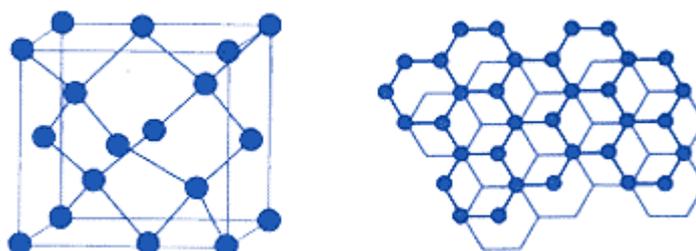


Fig. 5 – Diamante (à esquerda) e Grafita (à direita)

(Fonte: Herbst, *Ciência Hoje das Crianças*)

Redes hexagonais planas de átomos de carbono formam os dois tipos de grafita. Com cada átomo de carbono rodeado tetraedricamente por quatro vizinhos equidistantes, a estrutura do diamante resulta em uma célula unitária cúbica. Um pouco diferente, a lonsdaleíta – encontrada pela primeira vez em um meteorito no Arizona, em 1967 – resulta em uma célula unitária hexagonal. De cor branca, a caoíta foi descoberta na cratera de Ries, na Baviera, em 1968, mas também pode ser sintetizada artificialmente. Em 1972, em uma reação, obteve-se, juntamente com a caoíta, o carbono(IV), que tem estrutura hexagonal.

Em resumo, em 1985, o  $C_{60}$  representou a sétima forma alotrópica do carbono, sendo a primeira molecular, e não cristalina, como as outras seis já conhecidas.

## 2.6) PROTAGONISTAS E COADJUVANTES DA HISTÓRIA

Os três personagens principais da descoberta do  $C_{60}$  foram os químicos Harold Kroto, Richard Smalley e Robert Curl. (*Nobel Foundation*, 1996)

Harold Kroto, cujo sobrenome foi abreviado para Kroto em 1955, era filho de um judeu. Em 1937, devido ao nazismo, seus pais deixaram Berlim e se estabeleceram em Londres. Com o início da 2ª Guerra Mundial, em setembro de 1939, precisaram sair de Londres. Em 7 de outubro daquele ano, Harold nasceu em Wisbech, também na Inglaterra. Estrangeiro considerado inimigo em potencial, seu pai chegou a ser exilado na Ilha do

Homem. A família perdeu tudo e recomeçou a vida em outra cidade inglesa, Bolton, onde Kroto teve uma infância relativamente pobre. O pai era dono de um pequeno negócio: fazia impressão de imagens em balões de brinquedos. Kroto tornou-se PhD em 1964 na Universidade de Sheffield, na Inglaterra. Em 1967, começou a trabalhar na Universidade de Sussex, no mesmo país.

O mais novo de quatro irmãos, Smalley nasceu em 6 de junho de 1943 em Akron, Ohio, Estados Unidos. Pertencente a uma família de classe média, ele passou a infância e a adolescência no Kansas, onde morava em uma casa confortável. O pai trabalhou como carpinteiro e depois em gráficas. Foi a mãe quem apresentou Smalley às obras de grandes nomes da ciência, como Newton e Darwin. Smalley tornou-se PhD em 1973 na Universidade de Princeton, nos Estados Unidos. Em 1981, foi nomeado professor de química da Universidade de Rice, também nos Estados Unidos, onde atuou até o seu falecimento, em 2005.

Nascido em 23 de setembro de 1933 em Alice, Texas, Estados Unidos, Curl era filho de um pastor metodista com uma dona-de-casa e tinha uma irmã mais velha. Quando criança, morou em várias pequenas cidades do Texas. Nunca foi um aluno brilhante, mas chamava a atenção dos professores porque era muito esforçado e disciplinado. Manteve essas características como cientista. Na descoberta do  $C_{60}$ , em face à euforia dos colegas, Curl sempre manteve uma postura mais crítica em relação aos resultados obtidos pelo grupo e às interpretações dos dados experimentais. Curl tornou-se PhD em 1957 na Universidade da Califórnia, Berkeley, Estados Unidos. No ano seguinte, ingressou na Universidade de Rice.

Além de Kroto, Smalley e Curl, nos experimentos que levaram à descoberta do  $C_{60}$ , tiveram participação importante dois estudantes de doutorado, Jim Heath e Sean O'Brien, que também assinaram o artigo da *Nature*.

## 2.7) O QUE KROTO FAZIA

Em meados da década de 70, na Universidade de Sussex, Kroto se dedicava ao estudo das cianopoliinas, cadeias de carbono terminadas por um átomo de hidrogênio em uma extremidade e por um nitrogênio na outra. Nessa mesma época, eram feitos avanços na detecção de moléculas no espaço por meio da radioastronomia. Kroto estava interessado em descobrir se as cianopoliinas ocorriam no espaço. Sua equipe sintetizou no laboratório moléculas  $HC_5N$  e, com a colaboração de astrônomos, elas foram detectadas no espaço. Em seguida, também foram detectadas as moléculas  $HC_7N$ ,  $HC_9N$  e  $HC_{11}N$ .

Naquela época, a ocorrência de moléculas tão pesadas no espaço surpreendia os pesquisadores. E Kroto especulava que talvez houvesse moléculas ainda maiores, com 20 ou 30 átomos de carbono. Baseado nos conhecimentos da astronomia, ele apontava as estrelas gigantes vermelhas frias como as prováveis fontes dessas moléculas. Seu sonho

era “reproduzir na Terra as condições estelares de síntese dessas moléculas e, então, possivelmente, determinar quais eram as responsáveis por diversos espectros não identificados na luz proveniente do espaço interestelar”. (ROCHA-FILHO, 1996, p. 7) Em tempo: é a análise da radiação emitida pelos corpos celestes que permite concluir quais moléculas existem no espaço. E os dados disponíveis sobre a radiação proveniente das estrelas gigantes vermelhas frias sugeriam a presença de compostos ainda desconhecidos.

O problema é que simular as tais condições estelares de síntese molecular não parecia tarefa das mais fáceis...

## **2.8) O QUE SMALLEY FAZIA**

Smalley, na Universidade de Rice, trabalhava com clusters, que são agregados de átomos ou moléculas. Produzia, por exemplo, clusters de metais e estudava suas propriedades como semicondutores. Para a produção desses clusters, havia desenvolvido um aparelho chamado de AP2. O funcionamento do aparelho pode ser descrito nos seguintes termos:

“Uma técnica poderosa em que um laser vaporizava (a temperaturas superiores a dez mil graus Celsius) átomos de um material refratário (um metal, por exemplo) num jato pulsado de hélio, no qual os átomos se reagregavam formando aglomerados que eram, então, resfriados por uma expansão supersônica, arranjados num feixe e detectados por espectrometria de massa”. (ROCHA-FILHO, 1996, p. 7)

O AP2 de Smalley seria muito útil aos propósitos de Kroto, mas este ainda não conhecia o tal aparelho. E, mesmo depois de conhecê-lo, o cientista inglês precisou esperar um tempo longo até que pudesse utilizá-lo.

## **2.9) CURL COMO ELO**

Assim como Kroto, Curl era espectroscopista de microondas. Na primavera de 1984, os dois amigos participaram de uma conferência em Austin, no Texas. Após esse compromisso, por sugestão de Curl, Kroto não retornou logo à Inglaterra. Antes, foi a Houston visitar a Universidade de Rice. Lá, Kroto conheceu o laboratório de Smalley, com quem Curl costumava realizar pesquisas conjuntas.

Com seu AP2, Smalley estava obtendo resultados impressionantes sobre clusters de  $\text{SiC}_2$ . Mas não foram esses resultados que encheram os olhos de Kroto. Este ficou maravilhado com o equipamento. Afinal, ele estava convencido de que, se o feixe de laser incidisse sobre uma placa de grafita, o AP2 poderia simular as reações químicas que levavam à formação das cianopoliinas nas estrelas.

Kroto, então, começou a pressionar Curl sobre a possibilidade de experimentar uma placa de grafita na máquina. Curl, por sua vez, conversava com Smalley sobre essa

possibilidade. Mas a equipe de Smalley não queria parar seus experimentos, que estavam indo tão bem, para iniciar um novo projeto com um objetivo diferente.

Contudo, 17 meses após a visita de Kroto, o grupo de Smalley achou que talvez fosse a hora de fazer uma breve pausa nos experimentos sobre clusters de metais e semicondutores. Nessa brecha, Curl insistiu com Smalley sobre o pedido de Kroto. Smalley finalmente cedeu e Kroto recebeu um telefonema de Curl em meados de agosto de 1985. Kroto poderia ter ficado na Inglaterra e apenas recebido os resultados já prontos dos experimentos com a placa de grafita. Mas, é claro, ele preferiu acompanhar de perto a realização desses experimentos. No dia 1º de setembro, um domingo, Kroto já estava 'pilotando' o AP2 no laboratório de Smalley na Universidade de Rice. (O'DRISCOLL, 1996)

## **2.10) AS DUAS PRIMEIRAS SEMANAS DE SETEMBRO DE 1985**

Antes que Kroto chegasse, Smalley pediu que seus estudantes averiguassem se o AP2 funcionava com a placa de grafita, para evitar que a vinda do cientista inglês fosse uma completa perda de tempo. Sean O'Brien, Yuan Liu e Qingling Zhang fizeram o teste, que pareceu satisfatório. Anotaram que o padrão de clusters de carbono obtido foi similar ao já descrito pelo grupo da Exxon Research and Engineering Company, de New Jersey, Estados Unidos – equipe liderada pelos cientistas Eric Rohlfing, Don Cox e Andy Kaldor. Os estudantes de Smalley não fizeram nenhuma observação sobre isso, mas, nos registros gerados pela máquina, o pico relativo ao cluster de 60 átomos de carbono era bem maior que os outros. (ALDERSEY-WILLIAMS, 1995)

De modo geral, a chegada de Kroto não gerou entusiasmo nos membros do laboratório de Smalley. Seja como for, Kroto passou todo o dia 1º de setembro de 1985, um domingo, aprendendo a dinâmica do AP2 com o estudante de doutorado Jim Heath. Os dois, aparentemente, se deram bem: depois de horas de trabalho, foram tocar violão para descansar. (Ibid, 1995)

O primeiro registro acerca do pico relativo ao  $C_{60}$  foi feito na segunda-feira, dia 2 de setembro. Não se pode perder de vista que o objetivo inicial da vinda de Kroto era utilizar o AP2 como um simulador da síntese de cianopoliinas nas estrelas. E, para tal, houve todo tipo de tentativa e erro: aumento e diminuição da pressão do gás hélio, introdução dos gases hidrogênio e nitrogênio, variações na intensidade, na duração e no intervalo do pulso de laser etc. O ponto é que, sob as mais diversas condições, o pico do  $C_{60}$  sempre aparecia, e com tamanho maior que o dos picos relativos aos outros clusters de carbono.

Algumas cianopoliinas foram satisfatoriamente obtidas, mas foi aquela sistemática observação do pico de  $C_{60}$  que começou a entusiasmar os pesquisadores:

“Eles reproduziram, sem nenhum problema, as moléculas mais simples que Kroto já havia estudado; em seguida, depois de dias e noites de trabalho

intenso, rodeados de painéis mais complexos que os de um avião, diante de imagens que se sucediam em velocidade infernal, a intensa curiosidade de Kroto detectou algo de chamar atenção: em quase todas condições de trabalho, aparecia sempre uma molécula de 60 átomos de carbono ( $C_{60}$ ). Evidentemente, não podia tratar-se de uma casualidade e os estudantes S. Heath e J. O'Brien tentaram – e conseguiram – verificar o fato de maneira sistemática. Os cinco pesquisadores compreenderam que haviam encontrado algo muito interessante e imediatamente se perguntaram qual seria a estrutura que permitia a essa molécula de 60 átomos ser tão estável.” (REGUEIRO, 1993, p. 16)

Surgiu, então, a hipótese de que uma folha de grafita se desprenderia da placa e, em uma reação química, se encresparia para formar um domo geodésico. Mas um domo geodésico poderia ser formado apenas com faces hexagonais, como as presentes na folha de grafita? A estrutura do  $C_{60}$  intrigava os cientistas. Para se inspirar, Smalley foi à biblioteca e trouxe o livro *The dymaxion world of Buckminster Fuller*, escrito por R. W. Mark.

“Como Kroto é um admirador fanático do arquiteto R. Buckminster Fuller, que se distinguiu por suas cúpulas, feitas à base de faces hexagonais encurvadas graças à combinação com pentágonos (um exemplo é o pavilhão dos Estados Unidos na exposição de Montreal, em 1967), ele sugeriu a seus colegas que a molécula poderia ter uma estrutura redonda desse tipo. Lembrou, além disso, que fizera para seus filhos uma esfera celeste com tais características. Hoje, é essa esfera que ele mostra em todas as suas conferências...” (Ibid, p.16)

Kroto sugeriu aos colegas a combinação de hexágonos com pentágonos, mas, é claro, também não estava totalmente seguro a respeito dessa estrutura. Na excitação diante da novidade, os cientistas tentaram de tudo. Heath fez um modelo com jujubas e palitos, e constatou a dificuldade de montar um domo somente com hexágonos. Smalley, de madrugada, em sua casa, recortou hexágonos de papel e, assim como Heath, verificou que a estrutura não fechava. Por fim, resolver recortar alguns pentágonos também, conforme Kroto havia sugerido. Observou que, colocando os hexágonos em torno dos pentágonos, era possível obter uma estrutura fechada, perfeitamente simétrica, com 60 vértices, correspondentes aos 60 átomos de carbono: uma estrutura compatível com a estabilidade experimentalmente verificada para o  $C_{60}$ .

Apesar da incrível sensação de que tinha encontrado a resposta que o grupo tanto procurava, Smalley conseguiu dormir. Na manhã do dia seguinte, reuniu-se com a equipe e apresentou a novidade. Curl salientou que aquela estrutura molecular só seria possível se houvesse ligações duplas e simples intercaladas. (ALDERSEY-WILLIAMS, 1995) Era a hora de redigir o artigo que seria submetido à *Nature*. A renomada *Nature* era a revista ideal para o anúncio de uma forma de carbono até então desconhecida e com o potencial de revolucionar a química e a ciência de modo geral.

Smalley pediu a Bill Veech, colega do departamento de matemática em Rice, que analisasse a estrutura tridimensional proposta para o  $C_{60}$ . Veech ofereceu duas respostas, uma técnica – tratava-se de um icosaedro truncado – e outra leiga – ora, aquilo era uma

bola de futebol! Smalley também pediu a colegas do departamento de bioquímica que gerassem no computador uma imagem do  $C_{60}$ . (Ibid, 1995) Esta imagem seria usada na capa da *Nature* por ocasião da publicação do artigo, que mostra como os fulerenos, principalmente o  $C_{60}$ , mas também o  $C_{70}$ , são formados quando o carbono vaporizado se condensa em uma atmosfera de gás inerte.

O artigo foi redigido rapidamente. Os cientistas poderiam ter consultado mais profundamente a literatura científica disponível sobre o tema, mas a pressa de publicar antes que outro grupo o fizesse os impediu. Paralelamente à redação do artigo, eles tentavam colocar algum elemento dentro da esfera oca do  $C_{60}$ . A primeira tentativa foi colocar ferro, mas falhou.

No dia 13 de setembro, o artigo – no qual Kroto aparecia como primeiro autor – foi enviado para a *Nature*. O título era  $C_{60}$ : *Buckminsterfullerene*. O nome da molécula era uma homenagem a R. Buckminster Fuller, cuja obra inspirou a elucidação da estrutura. Curiosamente, tanto Kroto como Smalley, em 1967, quando nem sonhavam se conhecer muito menos realizar uma descoberta tão relevante juntos, visitaram o pavilhão dos Estados Unidos – projetado por Fuller – na exposição de Montreal. (Ibid, 1995) Mas o arquiteto que entrou para a história da química faleceu dois anos antes da descoberta do  $C_{60}$ .

Segundo Kroto, a idéia do nome buckminsterfulereno surgiu na hora em que sentaram para redigir o artigo. De acordo com Smalley, a idéia já existia na semana anterior. Mas essa não é a única divergência entre as versões da descoberta contadas pelos dois cientistas. Criou-se um clima de disputa sobre qual dos dois teria desvendado a estrutura molecular do  $C_{60}$ . (Ibid, 1995)

Também no dia 13 de setembro, Kroto pegou um voo de volta à Inglaterra. Smalley foi levá-lo até o aeroporto. Na volta do aeroporto, recebeu uma importante ligação de Heath. Eles tinham conseguido colocar lantânio dentro da cavidade do  $C_{60}$ . Essa informação foi incluída no artigo da *Nature*, publicado na edição de 14 de novembro de 1985.

Cabe destacar que o artigo, de apenas duas páginas, revela, em várias passagens, a excitação dos cientistas diante de sua descoberta. Isso fica claro pelo uso exagerado de adjetivos e advérbios. Há também muitos trechos que não seguem o estilo científico clássico: os autores admitem que o objetivo inicial da pesquisa era outro; comparam abertamente a estrutura molecular do  $C_{60}$  com uma bola de futebol, inclusive usando a fotografia de uma bola de futebol; argumentam que consultaram o livro de um arquiteto para ter inspiração etc.

## 2.11) A INTUIÇÃO QUE NÃO VEIO ANTES

Pode-se arriscar dizer que, para a descoberta dos fulerenos por Smalley e seus estudantes juntamente com Kroto e Curl, a presença de espírito e a intuição dos cientistas

desempenharam papel fundamental. Afinal, em artigos publicados em japonês e em russo na década de 70, cientistas já faziam conjecturas sobre a existência do  $C_{60}$ , mas lhes faltavam dados experimentais e perspicácia para reconhecer que estavam diante de algo importante e que, portanto, deveriam aprofundar seus estudos. Já em 1984, o grupo Exxon, já mencionado anteriormente, chegou a obter evidências experimentais do  $C_{60}$  e de outros fulerenos. Porém, não se arriscou a sugerir uma estrutura para essas moléculas. (APPLEWHITE, 1995)

A descoberta dos fulerenos foi encarada com entusiasmo e ceticismo pela comunidade científica. Kroto, Smalley e Curl, assim como outros cientistas que se interessaram pelos fulerenos, seguiram acumulando evidências sobre a existência, a estrutura e até as propriedades dessas moléculas, principalmente do  $C_{60}$ . Porém, havia um obstáculo a ser vencido:

“Durante alguns anos – e apesar de muitos cientistas estarem ansiosos para estudá-las –, somente os cientistas teóricos e alguns poucos afortunados cientistas experimentais puderam dedicar-se às novas formas do carbono. A dificuldade de se chegar ao estudo dessas moléculas deve-se à ínfima quantidade de fulerenos (inferior ao micrograma) que é possível obter pelo método de vaporização a laser.” (REGUEIRO, 1993, p. 16-17)

## 2.12) O ALEMÃO E O AMERICANO EM 1990

O método para a produção de  $C_{60}$  em quantidades significativas foi, enfim, descrito por dois físicos em 1990: o alemão Wolfgang Krätschmer, do Instituto Max Planck de Física Nuclear, em Heidelberg, na Alemanha, e o americano Donald Huffman, da Universidade do Arizona, em Tucson, nos Estados Unidos. Eles utilizaram sua experiência de cerca de 20 anos no estudo da fumaça de carbono produzida em um forno onde um arco liga dois eletrodos de grafita atravessados por descargas elétricas. Desconfiaram que a fuligem assim produzida continha fulerenos. Aplicaram o velho princípio segundo o qual semelhante dissolve semelhante: colocaram benzeno sobre a fuligem.

“Uma bela coloração de vinho do porto apareceu instantaneamente: os fulerenos haviam se dissolvido no benzeno! Logo que a solução se evaporou, obtiveram-se pequenos cristais negros, macios e brilhantes, que consistiam numa mescla de  $C_{60}$  (90%) e  $C_{70}$  (10%). A descoberta desta forma simples de fabricar fulerenos desencadeou a euforia ainda em curso.” (REGUEIRO, 1993, p. 19)

Kroto, que também buscava um método de produção do  $C_{60}$  em grandes quantidades, foi solicitado pelo editor da *Nature* para ser *referee* do artigo assinado pelo grupo de Krätschmer e Huffman. Por ironia do destino, pouco tempo antes, a equipe de Kroto havia obtido uma solução vermelha<sup>5</sup> pelo mesmo processo de descarga elétrica em um forno de arco. Porém, Kroto nunca imaginou que essa técnica produziria tanto  $C_{60}$ . Se tivesse imaginado, teria usado um método menos sensível para detectar esse  $C_{60}$ , como fizeram os físicos. No entanto, o que Kroto fez foi encomendar um espectrômetro de massa

– aparelho que detectaria o  $C_{60}$  em quantidades menores. Se não ficasse esperando por esse equipamento mais sensível, talvez publicasse o artigo antes dos físicos. (O'DRISCOLL, 1996) Se havia uma corrida, Kroto, dessa vez, chegou em segundo lugar.

A publicação do artigo do grupo de Krätschmer e Huffman na *Nature* (vol. 347, p. 354-358, 1990) fez com que os trabalhos sobre os fulerenos e suas propriedades se multiplicassem com enorme rapidez. Surgiram estudos mostrando que os fulerenos podem ser “lubrificantes incomparáveis e que se comportam, reunidos a outros materiais, como supercondutores ou ferromagnetos orgânicos de elevada temperatura crítica”. (REGUEIRO, 1993, p. 15) Surgiram pesquisas até sobre a aplicação dos fulerenos contra o HIV-1. (O'DRISCOLL, 1996)

### 2.13) O JAPONÊS EM 1991

O cristalógrafo japonês Sumio Iijima, ao saber da descoberta do  $C_{60}$ , com forma de bola de futebol, resolveu rever umas fotografias que ele tinha publicado em 1980. Nessas fotografias, havia partículas de carbono com formato semelhante ao de uma cebola. Iijima enviou esse material para Kroto. A resposta foi que, em condições desfavoráveis, a estrutura do  $C_{60}$  não se fecha e as moléculas crescem como em um caracol. (REGUEIRO, 1993, p. 20)

As fotografias de Iijima, tiradas em 1980, são um indício de que talvez o cristalógrafo japonês pudesse ter descoberto os fulerenos antes de Kroto, Smalley e Curl? Isso não importa. Afinal, como tantos outros, Iijima esteve próximo dos fulerenos, mas, possivelmente, não soube dar-lhes a devida atenção.

Seja como for, Iijima correu atrás do prejuízo. Baseado no método otimizado de Krätschmer e Huffman para a produção de  $C_{60}$ , ele anteviu novas estruturas de carbono.

“Iijima fez uma pequena, mas crucial, modificação no método de síntese; em vez de deixar que os eletrodos de grafita entrassem em contato, deixou-os separados enquanto descargas elétricas faiscavam entre eles. Como esperado, fuligem se formou sobre as paredes da câmara de síntese, mas também houve a formação de um depósito negro sobre o eletrodo negativo (catodo). A análise desse depósito negro ao microscópio eletrônico revelou a existência do que hoje se denomina nanotubos: tubos cilíndricos de diâmetros nanométricos, ‘empacotados’ um dentro do outro como se fossem bonecas russas, com as extremidades fechadas por ‘hemisférios’ fullerênicos.” (ROCHA-FILHO, 1996, p. 11)

A descoberta dos nanotubos por Iijima também ganhou as páginas da *Nature* (vol. 354, p. 56-58, 1991). Eles têm uma vastíssima gama de possíveis aplicações. A descoberta dos fulerenos, que estimulou tantos avanços, abrindo caminho inclusive para os nanotubos, foi coroada em 1996, ano em que Kroto, Smalley e Curl dividiram o Prêmio Nobel de Química.

“Toda esta verdadeira revolução não se desencadeou porque uma pessoa, trabalhando com a obrigação de obter resultados rentáveis a curto prazo,

teve a idéia de fabricar uma nova forma do carbono com propriedades práticas espetaculares. Não. Cientistas dedicados à pesquisa básica, enquanto estudavam a possibilidade de reproduzir o que ocorre no Universo há milhões de anos-luz, descobriram algo diferente, que agora os cientistas de materiais estão experimentando em múltiplas aplicações industriais. Uma vez mais se comprova a verdade que as palavras de Pasteur encerram: 'Não existem ciências aplicadas, só aplicações da ciência'." (REGUEIRO, 1993, p. 24)

Como dito no trecho acima, os fulerenos, os nanotubos e as descobertas correlatas não aconteceram graças a um pesquisador, mas a vários – aliás, como quase tudo na ciência. Cabe lembrar, então, a participação de um argentino que hoje vive no Brasil, o físico Daniel Ugarte, atualmente na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). Quando fazia pós-doutorado na Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, na Suíça, publicou um trabalho que foi capa da *Nature*, em 22 de outubro de 1992 (vol. 359, p. 707-709). No artigo, ele relata que fuligem, quando irradiada por um intenso feixe de elétrons, em um microscópio eletrônico de alta resolução, reorganiza-se em partículas quase esféricas compostas por camadas concêntricas de carbono, semelhantes em estrutura às cebolas. O achado sugere que, em sistemas de tamanho limitado, a grafita, com suas redes hexagonais planas, não é o alótropo mais estável do carbono.

“Nossos resultados oferecem evidência experimental clara da tendência espontânea de a grafita incluir pentágonos em sua rede hexagonal e formar estruturas curvadas. Portanto, eles sustentam o esquema de minimização de ligações instáveis, proposto para explicar o crescimento de fulerenos a partir do vapor de carbono.” (UGARTE, 1992, p. 709)

Na mesma edição da *Nature*, Kroto – um dos protagonistas da descoberta dos fulerenos – comenta o trabalho de Ugarte. Diz se tratar de um estudo “elegante”, com resultados “interessantes” (vol. 359, p. 670-671). Hoje, no Brasil, Ugarte faz pesquisas sobre nanotubos e outros temas ligados à área de nanociência e à nanotecnologia.

“No Brasil, diversas iniciativas têm sido realizadas para dar apoio a grupos de pesquisa nessa área – por exemplo, o Instituto de Nanociência, um dos Institutos do Milênio do Ministério da Ciência e Tecnologia, bem como as quatro Redes Nacionais de Pesquisa em Nanociência e Nanotecnologia, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.” (CAPAZ; CHACHAM, 2003, p. 27)

As iniciativas oficiais específicas do governo federal para a nanociência e a nanotecnologia são o tema do próximo capítulo.

## NOTAS

<sup>1</sup> Feynman foi, por duas vezes, pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Assimilou nossa cultura com entusiasmo, especialmente o samba.

<sup>2</sup> Nanociência e nanotecnologia podem ser definidas de muitas formas diferentes. Encontrada no folder *Nanociência e Nanotecnologia: Manipulando o futuro átomo por átomo*, produzido pelo CBPF,

uma definição possível diz que "essas áreas englobam projeto, manipulação, produção e montagem no nível atômico e molecular, ou seja, na escala do bilionésimo de metro (ou nanômetro)". Neste trabalho, utiliza-se nanotecnologia molecular como sinônimo de engenharia molecular.

<sup>3</sup> A edição de junho de 2005 da revista *Scientific American Brasil* traz o artigo *Computadores de DNA ganham vida*. "Já conseguimos criar um autômato biológico, constituído de DNA e proteínas, capaz de diagnosticar num tubo de ensaio sintomas moleculares de certos tipos de câncer e 'tratar' a doença com a liberação de uma molécula terapêutica", contam os autores do artigo, Ehud Shapiro, professor do departamento de ciência da computação e química biológica do Instituto de Ciência Weizmann, em Israel, e Yaakov Benenson, pesquisador do Centro Bauer para Pesquisa Genômica da Universidade Harvard.

<sup>4</sup> Drexler teve a idéia da nanotecnologia na década de 1970 sem conhecer a palestra de Feynman de 1959. Contudo, mais gente além de Feynman e Drexler teve idéias similares. O alemão Arthur von Hippel, já na década de 1930, defendia a idéia de que, como as propriedades macroscópicas da matéria estão relacionadas a seus componentes moleculares, seria possível transformar aquelas propriedades alterando esses componentes. Na década de 1960, ele cunhou a expressão engenharia molecular para se referir ao desenvolvimento de materiais com propriedades sob encomenda, mexendo-se nos componentes moleculares, mas não tinha sugestões práticas de como tornar esse processo factível. (REGIS, 1997, p. 75-76)

<sup>5</sup> "Os fulerenos são sólidos pretos; dissolvidos em solvente apropriados, formam soluções coloridas (C<sub>60</sub>, magenta; C<sub>70</sub>, vinho; C<sub>76</sub>, amarelo/verde)." (ROCHA-FILHO, 1996, p. 10)

## REFERÊNCIAS

- A SHORT History of Nanotechnology (1959-2006). Foresight Institute. Disponível em <[www.foresight.org/nano/history.html](http://www.foresight.org/nano/history.html)>. Acesso em 27/05/2007.
- ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh. *The most beautiful molecule: an adventure in chemistry*. Aurum: Londres, 1995.
- APPLEWHITE, E. J. The Naming of Buckminsterfullerene. *The Chemical Intelligencer*, vol. 1, n. 3, julho/1995. Disponível em <<http://euch3i.chem.emory.edu/proposal/www.inetarena.com/~pdx4d/synergetica/eja1.html>>. Acesso em 03/11/2005.
- ARAKI, Koiti; TOMA, Henrique E. Nanociência e Nanotecnologia. *Ciência Hoje*, vol. 37, n. 217, p. 24-31, julho/2005.
- BENENSON, Yaakov; SHAPIRO, Ehud. Computadores de DNA ganham vida. *Scientific American Brasil*, ed. 49, p. 48-55, junho/2006.
- BINNING, Gerd; ROHRER, Heinrich; et al. Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. *Physical Review Letters*, vol. 49, p. 57-61, julho/1982.
- BINNING, Gerd; ROHRER, Heinrich. The Scanning Tunneling Microscope. *Scientific American*, vol. 253, p. 50-56, agosto/1985.
- CAPAZ, Rodrigo B.; CHACHAM, Hélio. Nanotubos e a nova era do carbono. *Ciência Hoje*, vol. 33, n. 198, p. 20-27, outubro/2003.
- CAPOZZOLI, Ulisses. A ciência do pequeno em busca da maioria. *Scientific American Brasil*, ed. 1, junho/2002. Disponível em <[www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia\\_1.html](http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_1.html)>. Acesso em 02/06/2006.
- DREXLER, K. Eric. Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of*

- the United States*, vol. 78, n. 9, p. 5275-5278, setembro/1981.
- DURAN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar de. *Nanotecnologia – Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber Editora, 208 p., 2006.
  - EIGLER, Donald; SCHWEIZER, Erhard. Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature*, vol. 344, p. 524-526, 05/04/1990.
  - EIGLER, Donald et al. An atomic switch realized with the scanning tunneling microscope. *Nature*, vol. 352, p. 600-603, 15/08/1991.
  - FEYNMAN, Richard. Há mais espaços lá embaixo (Tradução). *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/2002. Disponível em <[www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm](http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm)>. Acesso em 04/06/2006.
  - HERBST, Marcelo Hawrylak. Menores que míni, menores que micro, eles são NANO!. *Ciência Hoje das Crianças*, n. 140, outubro/ 2003. Disponível em <<http://cienciahoje.uol.com.br/view/1937>>. Acesso em 14/07/2007.
  - HUFFMAN, D.; KRATSCHEMER, W.; et al. Solid C<sub>60</sub>: a new form of carbon. *Nature*, vol. 347, p. 354-358, 27/09/1990.
  - IJIMA, Sumio. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, vol. 354, p. 56-58, 07/11/1991.
  - KROTO, H. W.; HEATH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene. *Nature*, vol. 318, p. 162-163, 14/11/1985.
  - KROTO, H. W. Carbon onions introduce new flavour to fullerene studies. *Nature*, vol. 359, p. 670-671, 22/10/1992.
  - MARTINELLI, Paulo. Profeta irreverente anuncia a era nano. *Cenário XXI*, Campinas, p. 3, 29/08/2004.
  - MARTINS, Jader Benuzzi. *A história do átomo – de Demócrito aos quarks*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 333 p., 2001.
  - MÜLLER, Erwin. Atoms Visualized. *Scientific American*, vol. 196, p. 113-122, junho/1957.
  - NANOCIÊNCIA e Nanotecnologia: Modelando o futuro átomo por átomo. Rio de Janeiro: CBPF / MCT.
  - O'DRISCOLL, Cath. Designs on C<sub>60</sub>. *Chembytes E-zine*. 1996. Disponível em <[www.chemsoc.org/chembytes/ezine/1996/kroto.htm](http://www.chemsoc.org/chembytes/ezine/1996/kroto.htm)>. Acesso em 03/11/2005.
  - ONE small step. *Nature*, vol. 443, p. 482, 05/10/2006.
  - PETERSON, Chris. *Nanotechnology: From Concept to R&D Goal*. Foresight Institute, 1995. Disponível em <[www.foresight.org/Hotwired.all.files/index.html](http://www.foresight.org/Hotwired.all.files/index.html)>. Acesso em 02/06/2006.
  - PETERSON, Chris. *Nanotechnology: from Feynman to the Grand Challenge of Molecular Manufacturing*. Foresight Institute, 2004. Disponível em <[www.patmedia.net/tbookman/techsoc/Peterson.htm](http://www.patmedia.net/tbookman/techsoc/Peterson.htm)>. Acesso em 02/06/2006.
  - REGIS, Ed. *Nano - A ciência emergente da nanotecnologia: refazendo o mundo - molécula por molécula* (Tradução). Rio de Janeiro: Rocco, 304 p., 1997.
  - REGUEIRO, Manuel Nuñez. Fullerenos: a nova fronteira do carbono. *Ciência Hoje*, vol. 15, n.

- 87, p. 15-24, janeiro-fevereiro/1993.
- RICE scientists build world's first single-molecule car. Rice University, 20/10/2005. Disponível em <[www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=7850](http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=7850)>. Acesso em 02/06/2006.
  - ROCHA-FILHO, Romeu C. Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 7-11, novembro/1996.
  - ROMERO, Thiago. "Ciência do Nano" em DVD. *Agência Fapesp*, 26/04/2006.
  - STEPHENS, Lowndes F. News Narratives about Nano S&T in Major U.S. and Non-U.S. Newspapers. *Science Communication*, vol. 27, n. 2, p. 175-199, 2005.
  - THAYER, Ann M. Nanotech Consumer Product Recalled in Germany. *Chemical & Engineering*, 07/04/2006. Disponível em <<http://pubs.acs.org/cen/news/84/i15/8415nanotech.html>>. Acesso em 02/06/2006.
  - THE NOBEL Prize in Chemistry 1996 "for their discovery of fullerenes". Nobel Foundation. Disponível em <[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1996](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996)>. Acesso em 28/05/2007.
  - TOMA, Henrique E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
  - UGARTE, Daniel. Curling and closure of graphitic networks under electron-beam irradiation. *Nature*, vol. 359, p. 707-709, 22/10/1992.

### **CAPÍTULO 3: HISTÓRIA OFICIAL NO BRASIL**

Novembro de 2006. Ao chegar ao Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), um cartaz azul no mural ao lado dos elevadores chama a atenção. Ele convoca para uma conferência promovida pelo Instituto de Química dentro da programação da XXVIII Jornada de Iniciação Científica da UFRJ. A palestra será proferida pelo pesquisador Marcelo Knobel, do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). O título da conferência é "Introdução à Nanociência e Nanotecnologia". Poderia ser apenas mais um entre tantos outros papéis no mural, mas aquele cartaz é um indício de um processo importante que está em curso no Brasil. Ele demonstra que a nanociência e a nanotecnologia não são mais temas restritos a pesquisadores que fazem pós-doutorado no exterior. Elas estão sendo introduzidas a jovens ainda nos cursos de graduação, jovens esses que, na carreira de pesquisadores, ainda estão no primeiro estágio, o da iniciação científica. A noção de que todos os objetos e criaturas são constituídos por átomos é antiga, e muita gente já fez a analogia entre átomos e tijolos. Mas, como foi visto no capítulo anterior, o mérito de sistematizar essas idéias e ir além foi do físico norte-americano Richard Feynman, que em 1959 começou a falar publicamente, em teoria, como grandes aplicações tecnológicas seriam possíveis se a matéria fosse controlada e manipulada em escala atômica. Esse pioneirismo de Feynman, ao que tudo indica, não teve paralelo no Brasil, o que não quer dizer que o país não mergulhou no universo da nanociência e da nanotecnologia.

Uma das primeiras iniciativas do governo brasileiro em nanotecnologia data de 1987, quando o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) investiu US\$ 10 milhões em equipamentos para técnicas na área de semicondutores. (MCT, junho/2006) Entretanto, faz-se necessário salientar que o desafio de reduzir constantemente as dimensões do objeto de estudo é algo intrínseco à pesquisa em semicondutores e que esta área é apenas uma entre tantas outras que integram o campo interdisciplinar da nanociência. Dessa forma, pode-se afirmar que aquela iniciativa do CNPq em 1987 foi, sim, importante, mas talvez ela não tivesse a intencionalidade de introduzir o Brasil, de modo articulado e sistemático, na era da nanotecnologia.

Essa sistematização do fomento à nanotecnologia começou a se tornar visível no ano 2000. Cabe explicar que a atuação do governo federal, por quadriênio, é norteada por um Plano Plurianual (PPA), um conjunto de programas, cada um composto por uma série de ações. No PPA 2000-2003, entre as ações do programa Expansão e Consolidação do Conhecimento Científico e Tecnológico, estava a Implantação do Centro de Referência em Nanotecnologia, com a finalidade de "criar" competência nacional nesta área. (*Secretaria de Orçamento Federal*) A idéia era estabelecer um centro de referência nacional que seria o núcleo de redes cooperativas multidisciplinares de pesquisa em nanotecnologia. Ao final

daquele quadriênio, o centro não havia sido criado, mas as redes estavam formadas, como será visto a seguir.

### **3.1) O SÉCULO XXI SE APROXIMA: A REUNIÃO DE 22/11/2000**

Faltava pouco mais de um mês para a chegada do século XXI quando o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o CNPq iniciaram uma atuação do governo brasileiro focada em estabelecer um plano para o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia no país. Eles promoveram, no dia 22 de novembro de 2000, no Auditório Álvaro Alberto do CNPq, em Brasília, o encontro de 32 pesquisadores de todo o Brasil envolvidos no estudo de materiais e dispositivos em escala nanométrica, que participaram da reunião de trabalho Tendências em Nanociências e Nanotecnologias. (*CNPq, Notícias*, 04/04/2001) Essas áreas entravam na agenda do governo brasileiro.

O MCT e o CNPq tinham urgência em realizar a reunião ainda no ano 2000, pois não queriam postergar ainda mais o início de uma estratégia coordenada para essas áreas, que já alcançavam destaque no contexto mundial, sobretudo nos Estados Unidos, Japão e Europa. Devido a essa pressa, nem todos os pesquisadores brasileiros envolvidos nesses campos puderam estar presentes ao encontro, divulgado no *site* do CNPq. Na tentativa de contornar o problema dessas ausências, o MCT e o CNPq solicitaram aos interessados que enviassem suas sugestões sobre o tema por *e-mail*.

Entre os pesquisadores participantes<sup>1</sup>, nenhum era da região Norte e a maioria veio do Sudeste, sobretudo de São Paulo – o que não causa surpresa –, mas a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) foi a instituição com o maior número de representantes no evento. Essa expressiva participação do Nordeste é um indício de que a nanociência e a nanotecnologia têm o potencial não só de colocar a pesquisa brasileira em igualdade de condições com a de países mais avançados, mas também de diminuir as desigualdades entre as regiões do Brasil no que se refere à ciência e à tecnologia.

O interesse do governo federal de fomentar a pesquisa em escala nanométrica foi destacado na abertura da reunião, na qual falaram o presidente do CNPq, Evando Mirra, o diretor de programas Horizontais e Instrumentais do CNPq, Celso Pinto de Melo, e o Secretário de Políticas e Programas do MCT, Esper Cavalheiro. Em seguida, houve uma série de apresentações científicas e, após o almoço, os participantes foram divididos em três grupos temáticos: "Nanodispositivos, nanosensores, nanoeletrônica"; "Materiais nanoestruturados"; e "Nanobiotecnologia/Nanoquímica". Após discussões, cada grupo apresentou suas conclusões.

Houve consenso de que a nanociência e a nanotecnologia, como áreas importantes para o desenvolvimento do país, necessitavam de um programa específico apoiado pelo MCT e pelo CNPq. De acordo com as propostas dos participantes, esse programa deveria

privilegiar, entre outros aspectos, a capacitação de recursos humanos, a interação com o setor produtivo, a formação de redes de pesquisa cooperativas e a canalização de recursos financeiros de diversas fontes, sempre levando em conta o caráter inovador e multidisciplinar da nanociência e da nanotecnologia.

Ao final do encontro, decidiu-se criar um Comitê de Articulação, coordenado por Anderson S. L. Gomes (UFPE) e formado por outros nove pesquisadores<sup>2</sup> de diferentes instituições do país. Coube a esse Comitê fazer um diagnóstico do estágio de desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia naquele momento no país, bem como propor um plano de implementação de um programa nacional nessas áreas.

Após essa primeira reunião, os membros do Comitê de Articulação, juntamente com Celso Pinto de Melo (CNPq), começaram a fazer contatos com personalidades renomadas em nanociência e nanotecnologia na Europa e nos Estados Unidos. Consultor científico do programa norte-americano, Richard Siegel foi um dos especialistas ouvidos pelo Comitê, que, em abril de 2001, divulgou um documento preliminar intitulado *Programa Nacional de P&D em Nanociências e Nanotecnologias: Plano de Implementação 2001-2005*.

No primeiro item do relatório, os autores procuraram justificar a motivação para esse Programa e usaram palavras que demonstram o otimismo do Comitê:

"Nas próximas décadas, os efeitos da nanotecnologia na sociedade, particularmente nas áreas da saúde, transporte e meio ambiente, com grande impacto econômico, serão, no mínimo, tão significantes quanto à influência combinada da microeletrônica, sistemas de imagens médicas, processos ajudados por computador e polímeros desenvolvidos pelo homem no século passado." (GOMES et al, 2001).

Em outro trecho do documento, esse entusiasmo também fica claro:

"O momento é adequado para que o Brasil estabeleça um programa coordenado de investimentos para apoiar uma iniciativa de longo prazo em nanociência e nanotecnologia, permitindo as condições necessárias para uma competição em igual nível com países de todo o mundo. O campo é altamente competitivo e dinâmico na arena internacional. Individualmente, pesquisadores brasileiros já são reconhecidos internacionalmente na área, tendo alguns dos trabalhos merecido destaque, inclusive como capa de revista." (Ibid, 2001)

O relatório elaborado pelo Comitê apresenta uma lista – incompleta, segundo os próprios autores – de 192 grupos e/ou indivíduos atuando em nanociência e nanotecnologia, sendo 53 de Minas Gerais, 48 de São Paulo, 34 do Rio de Janeiro, 15 do Rio Grande do Sul, 12 de Brasília, 12 de Pernambuco, 4 do Paraná, 4 de Santa Catarina, 2 da Bahia, 2 de Goiás, 1 do Amazonas, 1 do Ceará, 1 do Espírito Santo, 1 do Pará, 1 do Rio Grande do Norte e 1 de Sergipe. As pesquisas existentes também foram classificadas em seis categorias: "Nanodispositivos, nanosensores, nanoeletrônica"; "Materiais nanoestruturados"; "Nanobiotecnologia/Nanoquímica"; "Processos em nanoescala com impacto e aplicações no meio ambiente e agricultura"; "Energia"; e

“Nanometrologia”. O maior número de pesquisas era sobre "Materiais nanoestruturados" e o menor, sobre "Nanometrologia".

Esse levantamento preliminar oferece um panorama do que já vinha sendo feito no país, mesmo que de forma isolada, sem uma ação coordenada em nanociência e nanotecnologia por parte dos órgãos de fomento à pesquisa. Os autores recomendavam que aquelas seis categorias fossem priorizadas, recebendo recursos não só do MCT e de suas agências, mas também dos Fundos Setoriais e de outros Ministérios.

"Em particular, propomos que ainda em 2001 seja lançado um edital que contemple apoio específico para nanociência e nanotecnologia com ênfase em intercâmbio nacional e internacional, educação e infra-estrutura dos grupos atualmente com atividades na área. Um investimento substancial na área deverá ocorrer a partir de 2002." (Ibid, 2001).

O documento sugeria, ainda, a criação de Centros, Redes e um Instituto do Milênio na área de nanociência e nanotecnologia, entre outras recomendações.

### **3.2) AOS POUCOS, MAIS VISIBILIDADE**

A nanociência e a nanotecnologia ganhavam visibilidade no Brasil. Elas receberam alguma atenção na Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, realizada em setembro 2001. Produzida para nortear os debates dessa Conferência, a publicação *Ciência, Tecnologia e Inovação: desafio para a sociedade brasileira - Livro Verde*, lançada em julho daquele ano, dedica algum espaço às nanociências e nanotecnologias. Em um dos trechos em que se refere a esses temas, o documento diz o seguinte:

"Um problema chave, hoje, é o da criação de nanoestruturas funcionais, utilizando conceitos de supramoléculas, auto-ordenamento e compartimentalização. Este trabalho é a resposta ao desafio de se construir estruturas de dimensões muito inferiores às da atual microeletrônica, para com elas construir dispositivos funcionais (optoeletrônicos, microeletrônicos, biomédicos) e materiais estruturais que explorem propriedades revolucionárias, como a superplasticidade de nanopartículas. O sucesso no domínio desta propriedade poderá gerar uma nova revolução tecnológica na fabricação de materiais estruturais e objetos de uso geral, tão grande quanto foi a revolução causada pela introdução dos plásticos, no século XX." (GONÇALVES DA SILVA; MELO, 2001, p. 49)

Como se vê, no *Livro Verde*, assim como no documento produzido pelo Comitê de Articulação, existe um posicionamento entusiasmado com o impacto revolucionário associado à nanotecnologia. O *Livro Verde* comenta que a nanotecnologia transforma os conceitos de máquina e produção. As nanomáquinas seriam capazes de se auto-construir e de se reparar sozinhas, mas o conhecimento disponível ainda não permite se obter tais aparelhos. Mesmo assim, os autores afirmam que as aplicações da nanotecnologia podem ter "importante impacto direto sobre a competitividade da indústria nacional em um futuro não muito remoto" (Ibid, 2001).

### 3.3) EDITAIS PIONEIROS: REDES E INSTITUTOS DO MILÊNIO

Julho de 2001 não foi marcado apenas pelo lançamento do *Livro Verde*. No dia 11 daquele mês, o CNPq também iniciou a concretização de algumas das propostas do Comitê de Articulação, com o lançamento do Edital CNPq Nano nº 01/2001. Este objetivava "fomentar a constituição e consolidação de Redes Cooperativas Integradas de Pesquisa Básica e Aplicada em Nanociências e Nanotecnologias, organizadas como centros virtuais de caráter multidisciplinar e abrangência nacional".

A partir desse Edital, foram formadas quatro redes, com recursos totais de R\$ 3 milhões<sup>3</sup>: "Materiais Nanoestruturados (Nanomat)", proposta por Israel Jacob Rabin Baumvol (UFRGS); "Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces (Renami)", proposta por Oscar Manoel Loureiro Malta (UFPE); "Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia (Nanobiotec)", proposta por Nelson Eduardo Duran Caballero (Unicamp); e "Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (Nanosemimat)", proposta por Eronides Felisberto da Silva Junior (UFPE). Dois proponentes de Redes selecionadas, Israel J. R. Baumvol e Eronides F. da Silva Junior, haviam participado daquela primeira reunião, em novembro de 2000.

O Edital CNPq Nano nº 01/2001 teve dois termos aditivos. O primeiro, em 2003, destinou mais R\$ 5 milhões para as Redes. O segundo, em 2004, alocou mais R\$ 1,8 milhão. Esse Edital foi um marco, por se tratar de um instrumento específico para o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia. Contudo, essas áreas também foram contempladas por um outro edital mais abrangente, o Edital Institutos do Milênio. Lançado em 12 de março de 2001, seu propósito era estabelecer institutos de vanguarda em vários campos do conhecimento científico e tecnológico e, assim, incentivar o progresso social e econômico.

Os Institutos do Milênio são uma iniciativa do MCT, executada pelo CNPq e desenvolvida, inicialmente, dentro do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico Tecnológico III (PADCT III), com empréstimos do Banco Mundial. Em 2001, foram selecionados 17 projetos, entre eles o "Instituto de Nanociências", coordenado por Alaor Silverio Chaves (UFMG). Investigar sistemas nanométricos também estava entre os objetivos de outros três Institutos selecionados: "Instituto do Milênio de Materiais Complexos", coordenado por Fernando Galembeck (Unicamp); "Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos", coordenado por Roberto Mendonça Faria (USP/São Carlos); e "Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microssistemas e Nanoeletrônica", sob coordenação de Jacobus Willibrordus Swart (Unicamp). Os quatro Institutos relacionados à nanociência e à nanotecnologia receberam, no total, cerca de R\$ 22,5 milhões para a realização de atividades até novembro de 2004.

Em 2005, os Institutos do Milênio entraram em uma nova fase. No âmbito de um novo Edital, o Edital MCT/CNPq nº 01/2005, foram aprovados 34 projetos, agora apoiados com dinheiro inteiramente do governo brasileiro. Dessa vez, coube as iniciativas de nanociência e nanotecnologia um montante de R\$ 13,5 milhões, com prazo de execução até 2008.

Aqueles quatro Institutos relacionados à nanociência e à nanotecnologia continuaram entre as propostas selecionadas no novo Edital. O "Instituto do Milênio de Materiais Complexos" e o "Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos" foram mantidos com os mesmos nomes, mas com coordenadores diferentes: Henrique Eisi Toma (USP) e Yvonne Primerano Mascarenhas (USP/São Carlos), respectivamente. O "Instituto de Nanociências" se transformou em "Instituto de Nanotecnologia" e passou a ser coordenado por Belita Koiller (UFRJ). Além disso, a "Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica" deu lugar a "Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes", mas permaneceu sob a coordenação Jacobus Willibrordus Swart (Unicamp).<sup>4</sup>

Após o *boom* das Redes e Institutos do Milênio, foi publicado, em 2002, o documento *A Iniciativa Brasileira em Nanociência e Nanotecnologia*, assinado por Anderson S. L. Gomes e Celso P. de Melo, uma espécie de edição revista e ampliada daquele documento produzido pelo Comitê de Articulação.

Também em 2002, foi lançado o Programa Nacional de Nanotecnologia da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), iniciado a partir de uma proposta feita pelo Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). O projeto sugeria que a Capes, vinculada ao Ministério da Educação (MEC), financiasse algumas bolsas de doutorado pleno na área. Em setembro daquele ano, a Capes decidiu conceder seis dessas bolsas.

### **3.4) UM GRUPO DE TRABALHO E UM PROGRAMA NO PPA 2004-2007**

A Portaria MCT nº 252, de 16 de maio de 2003, definiu o Grupo de Trabalho<sup>5</sup> para a elaboração do Programa Nacional Quadrienal de Nanotecnologia. A equipe reunia, sobretudo, pesquisadores, como os coordenadores de dois Institutos do Milênio e de três Redes de nanotecnologia, além de representantes do governo e de algumas empresas. Os perfis variados dos membros do grupo demonstram uma preocupação de integrar governo, academia e empresas, ainda que, nem sempre, isso seja tão simples.

A equipe que elaborou o documento-base ofereceu subsídios ao Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, do PPA 2004-2007. Apesar das eventuais dificuldades, o documento-base prevê grande estímulo à nanotecnologia no setor produtivo:

“Um aspecto singular da nanotecnologia em nosso meio é que não temos muitas indústrias que possam, no curto prazo, absorver o conhecimento gerado em alguns dos temas da nanotecnologia. Do ponto de vista da

demanda, observa-se um crescente interesse de empresários sobre as novas oportunidades que a nanotecnologia oferece. De qualquer maneira, a criação do Programa visualiza o aumento de atividades produtivas tendo como base a nanotecnologia." (SÁ et al, 2003, p. 3)

O Grupo de Trabalho recomenda, por exemplo, que a gestão do Programa, centrada no MCT, receba apoio não só da comunidade científica e dos órgãos da administração federal, mas também das empresas, "que serão partes ativas na definição de políticas estratégicas e procedimentos de avaliação para o desenvolvimento da nanotecnologia no país" (Ibid, 2003, p. 12). Outra sugestão é estreitar os laços entre os laboratórios de pesquisa e o setor produtivo, com projetos conjuntos de desenvolvimento e inovação.

De acordo com o documento-base, o Programa, com estimativa de continuidade até 2011, tem como objetivo geral o desenvolvimento de novos produtos e processos em nanotecnologia, acompanhado pelo aumento da competitividade da indústria nacional e pela capacitação de recursos humanos<sup>6</sup>. Estes são considerados essenciais para que o Programa atinja suas metas e resultados esperados, como aumento significativo do número de empresas que incorporam nanotecnologias, ampliação do depósito de patentes, redução da dependência externa e do déficit da balança comercial, entre outros. A necessidade de se investir em infra-estrutura também é destacada. Na lista dos objetivos específicos, um item se refere à "formação e manutenção de uma rede nacional de laboratórios e facilidades de pesquisa" (Ibid, 2003, p. 9).

As diretrizes do Programa, no documento-base, incluem as parcerias com as Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs) dos Estados, a cooperação internacional, a inserção da nanotecnologia brasileira no cenário mundial e o apoio a empresas inovadoras de base nanotecnológica. Além disso, está prevista a constituição de bancos de dados e de um sistema de inteligência estratégica em nanociência e nanotecnologia, ressaltando-se que uma parcela expressiva do conhecimento já não é mais disseminada por meio de artigos em periódicos, e sim por meio de documentos de patentes.

Para a execução do Programa, o Grupo de Trabalho fez um orçamento de cerca de R\$ 402 milhões para o período de 2004 a 2007, demandando recursos do tesouro nacional e/ou de outras fontes, inclusive os Fundos Setoriais. A justificativa dos autores para esse investimento de grande porte está clara no texto:

"O Brasil detém cerca de 1% do PIB [Produto Interno Bruto] mundial e 3% da população mundial. A renda per capita é inferior à média mundial e chega a ser um décimo da de países desenvolvidos. Este fato pode ser atribuído parcialmente à adoção de políticas pouca agressivas e pouco focalizadas de investimentos em áreas estratégicas nos momentos cruciais de nossa história, o que teve como impacto um ritmo pouco acelerado de desenvolvimento do país em setores econômicos intensivos em conhecimento. Percebeu-se, enfim, o vínculo entre desenvolvimento, educação e investimentos em C&T, porém ainda não foram tomadas medidas concretas para acompanhar o desenvolvimento em áreas estratégicas, como a de fármacos ou de microeletrônica. No entanto, numa

iminente quebra de paradigmas imposta pela nanociência e nanotecnologia, estamos diante de uma oportunidade única de ingressarmos na nova era em fase com países desenvolvidos, contando com uma sociedade científica organizada e estruturada através de um modelo que valorize a complementariedade de competências.” (Ibid, 2003, p. 8)

Além das quatro Redes já existentes, o documento-base prevê a criação de outras duas: “Rede de Nanoanálise e Diagnóstico” e “Rede de Nanometrologia e Instrumentação”. Prevê também seis novos laboratórios, 12 ampliados e 25 reformados, além do Laboratório de Tecnologia e Nanofabricação de Silício, para pesquisa e inovação em nanoeletrônica, micro e nanossistemas. Este é um caso à parte, pois, no orçamento, os autores destinaram a ele R\$ 80 milhões, embora estimassem que sua concretização dependeria de mais de R\$ 292 milhões. (Ibid, 2003, p. A-3)

Provavelmente, o Grupo de Trabalho já imaginava que a quantia efetivamente concedida à nanociência e à nanotecnologia seria menor que a solicitada, o que realmente aconteceu. No PPA 2004-2007, originalmente, foram reservados para o Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia apenas R\$ 77,7 milhões, quantia distribuída entre quatro ações: R\$ 40,7 milhões para a implantação de laboratórios e redes; R\$ 28,5 milhões para apoio a laboratórios e redes; R\$ 4,5 milhões para projetos de pesquisa e desenvolvimento; e R\$ 4 milhões para a gestão do Programa. (MCT, outubro/2003)

Cabe, então, salientar que, no âmbito do PPA 2004-2007, o Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia é diferente do documento-base do Programa. O primeiro, que recebeu o número 1110 no Sistema de Informações Gerenciais e de Planejamento (Sigplan), é mais telegráfico, bem objetivo, e foi formulado a partir das recomendações encontradas no segundo, que é mais extenso e bem explicado.

O documento-base, com 12 capítulos, foi submetido à consulta pública. De 28 de novembro a 7 de dezembro de 2003, 65 participantes – de empresas, institutos, universidades e até imprensa, entre outros – fizeram seus comentários, via Internet. A organização de redes e laboratórios descentralizados foi vista com bons olhos pela maioria. Todavia, a implementação do Laboratório de Silício foi muito criticada. A falta de definição de áreas prioritárias também foi alvo de críticas. Os participantes argumentaram ser necessário um estudo detalhado da infra-estrutura e dos recursos humanos já disponíveis, bem como do interesse das empresas. Isso ajudaria a identificar áreas nas quais o país tem maior chance de se tornar competitivo e, portanto, para onde os investimentos devem ser dirigidos. (ANJOS; MENDES; TAVARES, janeiro/2004)

Paulo Roberto Martins, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), registrou o maior número de comentários. A ausência de um viés socioambiental no Programa foi o principal questionamento feito pelo cientista social, que, mais tarde, criou a “Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente”.

O documento-base do Programa cita a importância de que a sociedade seja informada sobre “os impactos da nanotecnologia na vida do cidadão, as novas oportunidades e os riscos de obsolescência que ela cria para produtos e processos atuais” (SÁ et al, 2003 p. 9). Nota-se que os impactos da nanotecnologia são associados às oportunidades, ou seja, não há menção a perigos. Quando se fala em riscos, estes são relacionados ao fato de que não investir em nanotecnologia pode significar produtos e processos obsoletos em pouco tempo. O documento-base, portanto, não prevê estudos sobre riscos sociais e ambientais, e participantes da consulta pública alertaram sobre isso, inclusive pesquisadores das ciências naturais. Foi o caso, por exemplo, de Vitor Baranauskas, do Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica da Unicamp, que sugeriu a inclusão de questões relativas ao impacto no meio ambiente.

Os comentários resultantes da consulta pública se transformaram em um relatório, disponibilizado pelo MCT em janeiro de 2004, e possivelmente motivaram algumas ações posteriores, como o lançamento do Edital MCT/CNPq nº 13/2004, para apoio a estudos de aspectos éticos ou impactos ambientais da nanotecnologia. No entanto, o documento-base original do Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, de 2003, não sofreu modificação e continua sendo usado até hoje.

Em 2003, foi criada a Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia, atual Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias.

### **3.5) NANOTECNOLOGIA CONQUISTA FUNDOS SETORIAIS**

A nanotecnologia foi incluída, pela primeira vez, em um edital do Fundo Setorial de Petróleo e Gás (CT-Petro) em 2003. Lançado em 3 de setembro, o Edital CT-Petro/CNPq nº 01/2003 visava “apoiar projetos de pesquisas básica, aplicada ou de desenvolvimento tecnológico que possibilitem a geração de conhecimento novo e suas possíveis aplicações, nas áreas temáticas para o setor de petróleo e gás natural”. Entre os projetos podiam estar estudos nas áreas de materiais avançados e nanotecnologia, desde que demonstrassem potencial impacto industrial para aquele setor.

Ao menos 12 propostas em nanotecnologia foram aprovadas, com um total de R\$ 2,1 milhões, sendo sete projetos do Nordeste, quatro do Sul e um do Sudeste. Isso indica que a nanotecnologia tem uma presença importante no Nordeste, ainda que o Edital reservasse 40% de seus recursos para projetos dessa região e também do Norte. Das propostas selecionadas em nanotecnologia, somente três estavam vinculadas a redes cooperativas, ou seja, “há diversos pesquisadores desenvolvendo atividades de nanotecnologia na área de petróleo e gás que não fazem parte das Redes de nanotecnologia apoiadas pelo MCT/CNPq” (ANJOS; MENDES; TAVARES, março/2004, p. 17).

O Fundo Setorial de Energia (CT-Energ) também incluiu a nanotecnologia em um edital de 2003. Lançado em 12 de setembro, o Edital CT-Energ/CNPq nº 01/2003 tinha como um de seus objetivos "financiar projetos de pesquisa nas áreas de Materiais Avançados, Nanotecnologia, Plasma, Supercondutividade e Fusão Nuclear cujos resultados demonstrem possuir potencial aplicação no Setor de Energia Elétrica". Foram contempladas 15 propostas em nanotecnologia, com um montante de pouco mais de R\$ 3 milhões. (MCT, junho/2006)

Além do CT-Petro e do CT-Energ, o Fundo Setorial Verde-Amarelo (CT-FVA) também lançou em 2003 um edital para fomento da nanotecnologia. O foco do Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003 era a cooperação de universidades ou centros de pesquisa com empresas públicas ou privadas nas áreas de nanotecnologia e materiais avançados. Ele foi dividido em duas fases. A primeira, que visava financiar eventos de articulação entre a academia e o setor empresarial, teve 33 propostas selecionadas, com R\$ 1,5 milhão. Já na segunda fase, em 2004, foram aprovados 20 projetos para a criação ou o fortalecimento de redes cooperativas de pesquisa, com R\$ 5 milhões. São Paulo foi o estado com mais propostas aceitas na segunda fase. Dos nove projetos paulistas aprovados, seis eram da USP.

### 3.6) A PITCE

Estimulada no Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003, a cooperação entre a academia e o setor empresarial se destaca como um dos principais ingredientes das Diretrizes de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), publicadas em 26 de novembro de 2003 pelo governo federal<sup>7</sup>.

"As Diretrizes [...] consideram as políticas de governo como um conjunto integrado, articulando simultaneamente o estímulo à eficiência produtiva, ao comércio exterior, à inovação e ao desenvolvimento tecnológico como vetores dinâmicos da atividade industrial". (*Diretrizes de PITCE*, 2003, p. 4)

Parte integrante do conjunto de medidas previstas no PPA, a PITCE tem como objetivo "o aumento da eficiência econômica e do desenvolvimento e difusão de tecnologias com maior potencial de indução do nível de atividade e de competição no comércio internacional" (Ibid, 2003, p.2). Ela visa aumentar a eficiência da estrutura produtiva, a capacidade de inovação das empresas brasileiras e as exportações. Para isso, apoiaria as empresas em atividades de pesquisa e desenvolvimento e facilitaria o relacionamento delas com os centros de pesquisa.

Segundo as Diretrizes de PITCE, para tornar o país mais competitivo no cenário mundial, em médio e longo prazo, uma das estratégias é "estimular o incremento de atividades portadoras de futuro, como biotecnologia, software, eletrônica e optoeletrônica, novos materiais, nanotecnologias, energia renovável, biocombustíveis (álcool, biodiesel) e atividades derivadas do Protocolo de Kyoto" (Ibid, p. 10).

O documento das Diretrizes diz que, para implantar a PITCE, é preciso concentrar esforços em quatro opções estratégicas: bens de capital; fármacos e medicamentos; semicondutores; e software. Destaca-se que, no documento, os semicondutores são considerados “parte da evolução para a nanotecnologia” (Ibid, p. 18).

A PITCE foi lançada em 31 de março de 2004. Entre suas medidas, estava uma Política Industrial de Nanotecnologia, para estruturar as ações industriais do setor e desenvolvê-lo, a ser executada pelos Ministérios do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e da Ciência e Tecnologia (MCT). (*Medidas de PITCE*, 2004)

De modo esquemático, a PITCE tem três eixos: Linhas de Ação Horizontais (inovação e desenvolvimento tecnológico; inserção externa; modernização industrial; melhoria do ambiente institucional e ampliação da capacidade produtiva); Opções Estratégicas (semicondutores; software; bens de capital; fármacos e medicamentos); e Atividades Portadoras de Futuro (biotecnologia; nanotecnologia; e energias renováveis).

Em 2006, quando a PITCE completou dois anos, foi divulgado um balanço de suas principais atividades. O documento é bastante objetivo ao apresentar as ações já concretizadas em nanotecnologia:

“O investimento total na área de nanotecnologia, no período 2004-2005, foi superior a R\$ 40 milhões. Desde 2004, foram apoiados 27 projetos de pesquisa participativa entre universidades e empresas, 19 projetos de pesquisa conduzidos por jovens pesquisadores (doutores com até cinco anos de formação), 11 projetos de apoio a incubadoras, 5 projetos de impactos sócio-ambientais e 5 projetos de cooperação internacional. Em 2005, foram criadas dez novas redes de pesquisa em nanotecnologia, além do apoio direto a três laboratórios estratégicos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF, Embrapa Instrumentação e Centro Estratégico de Tecnologia do Nordeste – Cetene) e a dois laboratórios nacionais: LNLS e INMETRO. No final de 2005 foi assinado um protocolo de intenções entre os presidentes do Brasil e da Argentina, visando à criação do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN). Um Programa Nacional de Nanotecnologia é, por definição, maior do que ações relacionadas à ciência. O CGEE [Centro de Gestão e Estudos Estratégicos] coordenou uma prospecção sobre nano, apontando os segmentos mais promissores para o desenvolvimento de vantagens comparativas dinâmicas pelo Brasil. No âmbito da Iniciativa Nacional para Inovação está havendo a aproximação de setores produtivos com os desenvolvimentos de nano – articulação nano e álcool, nano e cosméticos etc. – visando aumentar as chances de transformar oportunidades científicas em realidades comerciais.” (*PITCE 2 anos*, 2006, p. 39)

### **3.7) O ANO DE 2004**

Para compreender melhor essas ações em nanotecnologia no contexto da PITCE, é preciso voltar um pouco no tempo, para 2004, quando o Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia do PPA 2004-2007 teve início. No âmbito desse Programa, em 2004, além de R\$ 2 milhões para o LNLS, R\$ 1,8 milhão para as quatro Redes de nanotecnologia e R\$ 70 mil para eventos científicos, houve ainda três editais:

Edital MCT/CNPq nº 12/2004; Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004; e Edital MCT/CNPq nº 13/2004. (MCT, junho/2006)

O Edital MCT/CNPq nº 12/2004 teve como objetivo financiar projetos, realizados cooperativamente por empresas públicas ou privadas e grupos de pesquisa, para o desenvolvimento ou o aperfeiçoamento de produtos ou processos em nanotecnologia, especialmente nas áreas de nanobiotecnologia, sensores, materiais nanoestruturados e materiais nanomagnéticos. A maioria das propostas submetidas era sobre nanobiotecnologia. Foram selecionados 12 projetos, que receberam R\$ 3,5 milhões, além da contrapartida das empresas envolvidas. Embora o edital valesse para todo o país, somente três estados tiveram propostas aceitas: São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. (ANJOS; MENDES; TAVARES, dezembro/2004a) Entre os selecionados, estavam projetos propostos por Fernando Galembeck (Unicamp), Nelson Eduardo Duran Caballero (Unicamp), Sílvia Stanisçuaski Guterres (UFRGS) e Luiz Henrique Capparelli Mattoso (Embrapa), entre outros.

Com objetivo idêntico ao do Edital MCT/CNPq nº 12/2004, a Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004 concedeu R\$ 930 mil, sendo 30% desses recursos destinados às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Dessa forma, juntamente com dois projetos da UFMG, um da UFRJ e um do IPT (SP), foram selecionados um da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e um da UFRN. A empresa Biosintética Farmacêutica estava envolvida com duas das iniciativas selecionadas: ela foi interveniente de um projeto de formulações nanoestruturadas para tratamento da leishmaniose, com execução da UFRJ, e de um projeto de nanodispositivos para tratamento de doenças cardiovasculares, com execução da UFMG. A outra proposta da UFMG contava com a parceria da Petrobras.

Quanto ao Edital MCT/CNPq nº 13/2004, ele tinha um caráter diferenciado. Ele oferecia financiamento para estudos dos impactos sociais, ambientais, econômicos, políticos, éticos e/ou legais decorrentes do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, sendo que os projetos deveriam disseminar informações sobre o tema para o público em geral. A idéia inicial era financiar oito projetos, mas, devido a problemas com documentação, apenas quatro propostas foram aceitas, todas do Sul e Sudeste (Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Rio de Janeiro). (ANJOS; MENDES; TAVARES, dezembro/2004b)

Essas propostas receberam R\$ 92,4 mil, um valor bem menor que o de outros editais de nanotecnologia, provavelmente porque pesquisas em ciências sociais não requerem aparelhagens caras. O Estado de São Paulo, que se destaca em nanotecnologia, submeteu o maior número de projetos ao Edital MCT/CNPq nº 13/2004, mas nenhuma de suas sete demandas foi aprovada.

Em 2004, a nanotecnologia também teve investimentos de fora do Programa do PPA 2004-2007, como nos casos do Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 18/2004 e do Edital MCT/CNPq nº 21/2004 - RHA-E-Inovação. O primeiro tinha o propósito de financiar pesquisas nas áreas de materiais avançados, nanotecnologia, plasma, supercondutividade e fusão nuclear, com impactos no setor de energia elétrica. Das 46 propostas selecionadas nesse edital, 22 eram em nanotecnologia e receberam a soma de R\$ 4,1 milhões. Dos projetos contemplados em nanotecnologia, havia 13 do Sudeste, seis do Nordeste, dois do Sul e um do Norte (Maranhão). (ANJOS; MENDES; TAVARES, dezembro/2004c) Uma parcela mínima de 30% do valor global do edital era destinada às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Quanto ao Edital MCT/CNPq nº 21/2004, no âmbito do Programa de Recursos Humanos para Atividades Estratégicas em Apoio à Inovação Tecnológica (RHA-E-Inovação), ele era dirigido a empresas brasileiras interessadas em absorver pessoal qualificado para atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Para tal, seriam concedidas bolsas para a realização de projetos não só em nanotecnologia, mas em qualquer área prioritária no contexto da PITCE. Esse edital totalizava R\$ 7,1 milhões oriundos de diversos Fundos Setoriais.

### **3.8) UM LABORATÓRIO NACIONAL?**

Também em 2004, a Portaria MCT nº 346, de 16 de julho, instituiu o Grupo de Trabalho que elaboraria um estudo sobre a implantação e a localização de um Laboratório Nacional de Micro e Nanotecnologia. Coordenada por Cylon Gonçalves da Silva, então Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento do MCT, a equipe tinha nove membros, entre representantes de Ministérios, empresas e universidades.

O Grupo de Trabalho realizou cinco reuniões plenárias e preparou um relatório final que analisava não só a questão do Laboratório, mas também destacava a urgente necessidade de um Programa Nacional de Nanotecnologia, com maior envolvimento do setor privado, elevação dos investimentos públicos e privados, e melhor articulação das agências federais e estaduais de fomento à pesquisa. O documento sugere um caminho para a indústria nanotecnológica no Brasil resumido em três etapas: dentro de cinco anos, enquadram-se as iniciativas de baixo risco e investimentos modestos, o que inclui processamento de materiais naturais, revestimentos, tintas e cosméticos; dentro de até dez anos, surgem possibilidades com catalisadores, sensores e entrega controlada de princípios ativos; e dentro de mais de dez anos, despontam aplicações em medicina, eletrônica, energia, defesa, telecomunicações, setor aeroespacial etc. (GONÇALVES DA SILVA et al, 2005) O orçamento proposto pelo Grupo de Trabalho para 2005 foi de R\$ 130 milhões, bem superior à quantia aplicada em nanotecnologia nesse ano: R\$ 80 milhões (MCT, junho/2006).

No quesito infra-estrutura, entre as principais recomendações do Grupo de Trabalho destacam-se: suporte para os laboratórios estratégicos existentes dentro das redes de nanotecnologia; apoio à implantação de atividades de micro e nanotecnologias no Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada (Ceitec), no Rio Grande do Sul, no Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus (CT-PIM), e no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (Cetene), em Pernambuco; e concentração de investimentos materiais e humanos em um ou mais centros nacionais. Em relação a este último item, a equipe opina que o LNLS já se configura como um importante centro nacional para a nanociência e a nanotecnologia, de modo que sua capacidade de atender a demandas nessas áreas deve ser preservada e ampliada.

Por fim, quanto à implantação do Laboratório Nacional de Micro e Nanotecnologia, a recomendação do Grupo é seguir o mesmo modelo do LNLS, isto é, o modelo de Organização Social. A equipe propõe três passos para iniciar a implantação do Laboratório. O primeiro seria um estudo para definir as dez prioridades em nanotecnologia para o Brasil na próxima década. O segundo seria o lançamento de um edital para que diferentes grupos apresentassem suas propostas para projetar, construir, gerir e operar o Laboratório. Após o detalhamento das melhores propostas, o ministro da Ciência e Tecnologia daria o terceiro passo, recomendando um desses projetos ao presidente da República. Contudo, o relatório final do Grupo de Trabalho diz que ainda não havia recursos previstos para a implantação de tal Laboratório.

Em um documento anterior, de 2003, relativo a um projeto que foi suspenso, Cylon Gonçalves da Silva já havia feito recomendações sobre um Programa Nacional de Nanotecnologia e um Centro Nacional de Referência em Nanotecnologia, que atuaria como secretaria executiva do Programa:

"O modelo do Centro apresentado ao MCT em 2002 prevê um conjunto de atividades ordenadas pela missão de acelerar o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, com o objetivo de, no prazo de uma década, assegurar a presença de empresas brasileiras no mercado global de materiais, produtos e processos baseados na nanotecnologia. [...] O Centro terá a missão de: (1) disponibilizar nacionalmente infra-estrutura de pesquisa de classe mundial, (2) realizar e difundir pesquisa e inovação, (3) promover a comercialização e a aplicação social de resultados de pesquisa, e (4) estimular a capacitação e o desenvolvimento equilibrado das competências regionais em nanociência e nanotecnologia. [...] O modelo operacional que se tem em mente é algo semelhante ao Instituto Fraunhofer na Alemanha, isto é, um conjunto de centros de pesquisa vocacionados para a interação com a indústria, levando em conta, entretanto, as especificidades da situação social e econômica brasileira. O Centro viria complementar, desta forma, o esforço das redes de pesquisa do CNPq, com uma focalização intensa nas aplicações da nanotecnologia." (GONÇALVES DA SILVA, 2003, p. 8-9)

Seja como for, a idéia de implantar um centro ou laboratório nacional de nanotecnologia não vingou. De forma resumida, ela foi rejeitada por boa parte da comunidade científica, que alegou, por exemplo, que ele seria muito caro e contribuiria para

a concentração das ações em nanotecnologia, e não para o desenvolvimento regional. Essa questão será discutida no Capítulo 9.

### **3.9) PROGRAMA NACIONAL: BRASILNANO E OUTRAS NOVIDADES**

A Portaria MCT nº 614, de 1º de dezembro de 2004, instituiu a Rede BrasilNano, descrita como um dos elementos do Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, no âmbito da PITCE.

“A Rede BrasilNano tem por finalidade fomentar o avanço científico-tecnológico e da competitividade internacional da ciência, tecnologia e inovação brasileiras, o desenvolvimento regional equilibrado, a interação entre centros de pesquisa públicos e privados e empresas, com vistas à formação de recursos humanos, à geração de empregos qualificados, à elevação do patamar tecnológico da indústria nacional e à aceleração do desenvolvimento econômico do País por meio da constituição de redes de pesquisa e desenvolvimento focadas em Nanociência e Nanotecnologia, em suas aplicações inovadoras em produtos e processos nanotecnológicos ou no estudo dos impactos em políticas públicas, éticos ou ambientais da Nanotecnologia.” (*Portaria MCT nº 614, 2004*)

Os membros<sup>8</sup> para compor o Conselho Diretor da Rede BrasilNano foram designados pela Portaria MCT nº 192, de 7 de abril de 2005. No âmbito da BrasilNano, dez redes de pesquisa temáticas foram formadas como resultado do Edital MCT/CNPq nº 29/2005, que disponibilizou um montante de R\$ 12 milhões.

O Edital MCT/CNPq nº 29/2005 já não se inseria simplesmente no Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, mas no Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN), lançado oficialmente em 19 de agosto de 2005 pelo presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, e pelo ministro da Ciência e Tecnologia, Sérgio Rezende, durante visita ao LNLS, em Campinas.

“O Programa Nacional de Nanotecnologia [...] faz parte desse grande esforço de implementação da nossa Política Industrial, Tecnológica e de Comercio Exterior. [...] Esse Programa envolve instituições dos Ministérios da Ciência e Tecnologia, da Educação, Agricultura e do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior, universidades públicas e particulares, dezenas de empresas e mais de 300 doutores, 500 estudantes de pós-graduação e 200 de graduação.” (LULA DA SILVA, 2005)

O PNN, conjunto de ações que contam com recursos orçamentários do PPA 2004-2007 e dos Fundos Setoriais (por meio da Ação Transversal de Nanotecnologia<sup>9</sup>), busca colocar em prática a PITCE no que se refere à nanotecnologia. (MCT, junho/2006) Curiosamente, o PNN, lançado em 2005, continuou usando como documento-base o mesmo texto produzido em 2003 para o Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia do PPA 2004-2007. Embora com um documento-base desatualizado, o PNN introduzia uma novidade, que era oficializar a união das ações de nanotecnologia do PPA 2004-2007 com as dos Fundos Setoriais, para promover o desenvolvimento estratégico dessa área no país, em sintonia com a PITCE.

Nesse contexto, ressalta-se que, na revisão do PPA 2004-2007, o Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia (de código 1110) foi excluído e suas ações foram absorvidas por um outro programa, o Programa Ciência, Tecnologia e Inovação para a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (de código 1388).

Em 2005, já no âmbito do PNN<sup>10</sup>, além do Edital MCT/CNPq nº 29/2005, outros foram lançados. O Edital MCT/CNPq nº 28/2005 selecionou 19 projetos de jovens pesquisadores, com até cinco anos de doutoramento. Com foco em nanociência, nanotecnologia ou nanobiotecnologia, os projetos podiam compreender pesquisa básica, experimental ou teórica, desenvolvimento de novos produtos ou processos, e estudo de impactos éticos, sociais ou ambientais. Os recursos totais foram de R\$ 3 milhões, sendo 30%, ao menos, para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Chama a atenção o fato de que, juntamente com propostas de famosas universidades, como Unicamp, USP e UFRJ, e de outras renomadas instituições, como CBPF, Embrapa e LNILS, também foram aprovados projetos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), no Rio Grande do Sul, e da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no Paraná, bem como da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e da Universidade Federal do Ceará (UFC). Isso demonstra um certo movimento, ainda frágil, de se tentar descentralizar a nanotecnologia no Brasil.

O Edital MCT/CNPq nº 31/2005, por sua vez, oferecia um montante de R\$ 300 mil para projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em nanotecnologia que fossem realizados em conjunto com a França. Cinco projetos foram selecionados.

Já o Edital MCT/CT-Biotec/CNPq nº 58/2005 dava ênfase às aplicações, comerciais ou sociais, da nanotecnologia, apoiando os processos de pré-incubação e incubação de empresas voltadas ao desenvolvimento de produtos ou processos inovadores. O edital previa recursos de R\$ 1 milhão e 11 propostas foram aprovadas. Entre elas estava o projeto *Biochips para detecção precoce de câncer de pele*, proposta por Petrus Santa-Cruz, pesquisador da UFPE, integrante da Renami e fundador da empresa Ponto Quântico.

A Chamada Pública MCT/Finep/Ação Transversal - Nanotecnologia - nº 03/2005 incentivava a cooperação entre empresas brasileiras e instituições científicas e Tecnológicas para o desenvolvimento de novos produtos, processos ou serviços baseados em nanotecnologia. Os projetos deviam priorizar os segmentos de agronegócio; energia; eletro-eletrônica; pigmentos e tintas; saneamento básico e recursos hídricos; siderurgia, vidros e cerâmicas; química e petroquímica; têxtil; cosméticos; ou saúde (humana e animal). As nove propostas aprovadas demandaram R\$ 4,2 milhões, além do dinheiro aportado pelos proponentes. Entre as empresas intervenientes de projetos aceitos estavam Petrobras e Natura.

As ações do PNN incluíam, ainda, investimentos para fortalecer laboratórios definidos como nacionais (LNLS e Inmetro) e estratégicos (Embrapa<sup>11</sup>, CBPF e Cetene), que serão destacados no Capítulo 7.

Em 2005, além das ações inseridas no PNN, houve ainda a segunda fase dos Institutos do Milênio, já mencionada, e a Chamada Pública MCT/Finep/FNDCT - Microeletrônica - 01/2005, com R\$ 8 milhões para apoio financeiro a projetos em micro e nanoeletrônica, realizados em cooperação entre empresas e instituições científicas e tecnológicas, visando ao interesse da indústria no Brasil. Foram selecionados 14 projetos, sendo seis do Rio Grande do Sul, seis de São Paulo, uma do Paraná e uma de Pernambuco.

Editais e outras ações em nanotecnologia, direta ou indiretamente ligados ao PNN, continuaram nos anos de 2006 e 2007.

### **3.10) NANOTEC: RESULTADOS EM EXIBIÇÃO**

O I Congresso e Exposição Internacional de Nanotecnologia (Nanotec 2005) foi realizado de 5 a 8 de julho de 2005, em São Paulo. Mais de três mil pessoas visitaram a exposição, onde instituições nacionais apresentaram mais de cem soluções nanotecnológicas desenvolvidas no Brasil, como a língua eletrônica, dispositivo capaz de distinguir entre marcas de café e safras de vinho. (VALENTE, 2005)

Durante o congresso, oficializou-se o lançamento da Carta de São Paulo, documento no qual a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) aponta a nanotecnologia como fator decisivo de desenvolvimento industrial no século XXI e propõe ações para seu desenvolvimento no país. Entre as recomendações estão:

"o mapeamento das reais oportunidades nanotecnológicas, de curto, médio e longo prazo; a ampliação, com envolvimento das empresas, da capacitação técnica multidisciplinar e gerencial, assim como da infraestrutura de produção e apropriação de conhecimento; o estabelecimento de parcerias estratégicas, que articulem a cooperação efetiva entre empresas, universidades e institutos de pesquisa nesse campo; a criação e aprimoramento de mecanismos de financiamento adequados para o leque de iniciativas e ações requeridas; o estímulo de ambientes amigáveis ao empreendedorismo inovador, em especial de empresas nascentes". (Apud FERNANDES, 2005)

Na segunda edição do evento, de 6 a 8 de novembro de 2006, também em São Paulo, o tema central foi *A nanotecnologia como fator estratégico de inovação e de competitividade* e a exposição teve mais de cinco mil visitantes. Na Nanotec 2006, foi firmada uma parceria entre a fabricante mineira de plásticos Mueller e a UFMG, que pretendem usar a nanotecnologia para desenvolver matérias-primas com aplicações em cabos, pára-choques e painéis; e a Suzano Petroquímica lançou um polipropileno que tem resistência e vedação aumentadas, além de propriedade antimicrobiana, graças à incorporação de nanopartículas de prata. (SIMÕES, 2006)

### 3.11) FUNDAÇÕES DE AMPARO À PESQUISA

Para finalizar o capítulo, um breve comentário sobre as Fundações de Amparo à Pesquisa. Não se pode esquecer que elas ajudam a sustentar as atividades de nanociência e nanotecnologia no país, embora nem sempre tenham programas específicos para essas áreas.

Por exemplo, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), por meio de todas as suas modalidades de financiamento, apóia pesquisas em nanociência e nanotecnologia: do início de 2001 a meados de 2006, a Fapesp recebeu 92 propostas nessas áreas e aprovou 39 delas. (CUNHA, 2006)

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe) também vem apoiando projetos em nanociência e nanotecnologia por meio de bolsas e auxílios em modalidades variadas. No ano de 2003, a Facepe lançou, ao menos, dois editais que tinham a nanociência e a nanotecnologia entre suas áreas prioritárias: o Edital MCT/CNPq/Facepe nº 05/2003, no âmbito do Programa de Apoio a Núcleos e Excelência (Pronex); e o Edital MCT/CNPq/CT-Infra/Facepe nº 06/2003, no âmbito do Programa Primeiros Projetos, que visava à instalação e à melhoria da infra-estrutura para pesquisa, de modo a incentivar a fixação de jovens pesquisadores e o estabelecimento de novos grupos. O primeiro aprovou os projetos Materiais Nanoestruturados para Aplicações em Dispositivos Fotônicos e Materiais Magnéticos Nanoestruturados, cabendo a cada um R\$ 250 mil. No segundo, pelo menos sete das propostas classificadas estavam diretamente ligadas à nano e cada uma recebeu cerca de R\$ 26 mil. (TOSCANO, 2006)

Na Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (Faperj), inserido em seus Programas Especiais, encontra-se o Instituto Virtual de Nanociência e Nanotecnologia (INN), com quase 70 membros de universidades e centros de pesquisa fluminenses. Empresas também podem ser admitidas. Além de articular diferentes grupos, o INN tem como objetivos apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento; organizar reuniões e outros eventos; promover a integração entre pesquisadores e o setor produtivo; difundir o conhecimento, por meio de ações educativas e de divulgação científica; e assessorar a Faperj na definição de políticas de fomento para nanociência e nanotecnologia. Coordenado por Fernando Lázaro Freire Jr, do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), o INN concentra esforços nas áreas de nanoestruturas magnéticas; catálise e fenômenos de superfície; materiais nanoestruturados à base de carbono; dispositivos à base de materiais nanoestruturados; nanopartículas e nanocompósitos; e nanoestruturas biológicas e biocompatíveis. (GALLINDO, 2006)

### NOTAS

<sup>1</sup> A UFPE foi representada por Anderson S. L. Gomes, Cid Bartolomeu de Araújo, Edval J. P. Santos, Eronides Felisberto da Silva Junior, Gilberto Sá e Sérgio Machado Rezende. Também da Região Nordeste, participaram Antonio Souza de Araújo, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

(UFRN); e Gil Farias, da Universidade Federal do Ceará (UFC). Todos os estados da Região Sul estavam representados. Vieram Aldo José G. Zarkin e Dante Homero Mosca Júnior, da Universidade Federal do Paraná (UFPR); Israel Jacob R. Baumvol e Sílvia S. Guterres, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); e André Avelino Pasa, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Da Região Sudeste, apenas o Espírito Santo ficou de fora. São Paulo foi o estado com o maior número de representantes: Cylon E. Tricot Gonçalves da Silva, Daniel Mario Ugarte e Gilberto Medeiros Ribeiro, do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Carlos Lenz, Newton C. Frateschi e José Antonio Brum, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Antonio Carlos Hernandez, da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos; Celso V. Santilli, da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara; Elson Longo, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); Nilson Dias Vieira Júnior, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen); e Paulo Sérgio Herrmann Junior, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em São Carlos. Das instituições mineiras, estavam presentes Margareth Spangler de Andrade, da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec); Sócrates de Oliveira Dantas, da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); e Wagner Rodrigues, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Já das instituições com sede no Rio de Janeiro, compareceram Fernando Luiz Bastian, da UFRJ; e João Alziro Herz da Jornada, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). José Camargo da Costa, Maria de Fátima S. Lettere e Zulmira G. M. Lacava, da Universidade de Brasília (UnB), completavam o time.

<sup>2</sup> Além de Anderson S. L. Gomes (UFPE), integravam o Comitê de Articulação Carlos Lenz (Unicamp); Elson Longo (UFSCar); Israel Baumvol (UFRGS); José Camargo da Costa (UnB); Maria de Fátima Lettere (UnB); Paulo Sérgio Herrmann Junior (Embrapa); Silvia Guterres (UFRGS); Wagner Rodrigues (UFMG); e Zulmira Lacava (UnB).

<sup>3</sup> Os valores apresentados neste Capítulo são os divulgados oficialmente pelo MCT, especialmente em relatório de junho de 2006 produzido pela Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias. Sabe-se, no entanto, que a liberação de recursos para projetos pode sofrer atrasos e a quantia pode ser diminuída, e isso acontece não raramente.

<sup>4</sup> Além disso, entre os 34 projetos aprovados em 2005, também estava o "Instituto de Óptica Não-linear, Fotônica e Biofotônica", que envolve síntese e caracterização de sistemas nanoestruturados. O coordenador era Cid Bartolomeu de Araújo (UFPE), participante daquela primeira reunião, em novembro de 2000.

<sup>5</sup> O Grupo de Trabalho era formado por Gilberto Fernandes de Sá (MCT); Alaor Chaves (UFMG); Carlos Alberto Achete (UFRJ); Darc Antônio da Luz Costa (BNDES); Eronides F. da Silva Jr. (UFPE); Israel Baumvol (UFRGS); Jacobus W. Swart (Unicamp); José Maria Fernandes Marlet (Embraer); José Roberto Leite (CNPq); Marcel Bergerman (Genius); Nelson E. Duran (Unicamp); Oswaldo Luis Alves (Unicamp); e Wanderley Marzano (Aegis). Os trabalhos foram conduzidos por Fernando Galembeck (MCT).

<sup>6</sup> Segundo o Grupo de Trabalho, a capacitação de recursos humanos deve ser feita em todos os graus, desde os técnicos de nível médio. Ele sugere, ainda, que a nanociência e a nanotecnologia sejam apresentadas aos alunos nos cursos de graduação, que pesquisadores realizem pós-doutorado no exterior e que a Capes crie cursos de pós-graduação multidisciplinares, articulando várias instituições.

<sup>7</sup> As Diretrizes foram fruto de um trabalho conjunto entre a Casa Civil da Presidência da República; os Ministérios do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, da Fazenda, do Planejamento e da Ciência e Tecnologia; o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea); o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep); e a Agência de Promoção das Exportações (Apex Brasil).

<sup>8</sup> Os membros designados foram Cylon Eudoxio Tricot Gonçalves da Silva (representante do MCT); Eliane de Britto Bahruth (representante da Finep); José Roberto Drugowich de Felício (representante do CNPq); Rafael Luchesi (representante do Fórum de Secretários Estaduais de Ciência e Tecnologia); Jorge Bounassar Filho (representante do Fórum de Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa); Antonio Luiz Bragança (representante da ANPEI, ABIPTI e ANPROTEC); Cid Bartolomeu de Araújo, Jailson Bittencourt de Andrade, Mayana Zatz e Paulo Ventura Santos (representantes de

pesquisadores brasileiros de notória competência); Ernesto Júlio Calvo e Carlos Balseiro (representantes de pesquisadores estrangeiros de notória competência); Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho (representante da ABDI); e Eduardo Emrich Soares e José Fernando Xavier Faraco (representantes de empresas ou associações empresariais).

<sup>9</sup> O *site* da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) explica que as Ações Transversais são programas estratégicos do MCT que têm ênfase na Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) do Governo Federal e utilizam recursos de diversos Fundos Setoriais simultaneamente.

<sup>10</sup> Canalizar recursos dos Fundos Setoriais para a nanotecnologia era uma recomendação antiga. Salieta-se que, embora o PNN tenha sido oficialmente lançado em agosto de 2005, ele já estava em andamento. Uma prova disso é que o Edital MCT/CNPq nº 29/2005, embora lançado antes, em abril de 2005, já se refere claramente ao PNN. Isso também ocorre com outros editais de 2005.

<sup>11</sup> Vinculado à Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, o Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA) começou a ser construído em 17 de abril de 2006.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a consulta pública ao documento elaborado pelo GT de nanotecnologia*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT, 34 p., janeiro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2704.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2704.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a inclusão da nanotecnologia no Fundo Setorial de Petróleo e Gás*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT, 30 p., março/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2562.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2562.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a nanotecnologia no Edital MCT/CNPq 12/2004 – Produtos e Processos*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT, 8 p., dezembro/2004a. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8235.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8235.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a nanotecnologia no Edital MCT/CNPq 13/2004 – Impactos*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT, 7 p., dezembro/2004b. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8236.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8236.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a nanotecnologia no Fundo Setorial de Energia*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT, 11 p., dezembro/2004c. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7698.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7698.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Nanotecnologia – 01/2004. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/editais/chamada\\_publica\\_MCT\\_FINE\\_P\\_FNDCT\\_Nanotecnologia\\_01\\_2004.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/editais/chamada_publica_MCT_FINE_P_FNDCT_Nanotecnologia_01_2004.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
- CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Nanotecnologia – 01/2004. Resultado. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/resultados/resultado%20nanotecnologia](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/resultados/resultado%20nanotecnologia)>

- .PDF>. Acesso em 01/09/2006.
- CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Microeletrônica – 01/2005. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/editais/Chamada\\_Publica\\_MCT\\_FINEP\\_FNDCT\\_MICROELETRONICA\\_01\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/editais/Chamada_Publica_MCT_FINEP_FNDCT_MICROELETRONICA_01_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Microeletrônica – 01/2005. Resultado. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/resultados/Resultado\\_Microeletronica\\_01\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/resultados/Resultado_Microeletronica_01_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/Ação Transversal – Nanotecnologia – 03/2005. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/acao\\_transversal/editais/Chamada\\_Publica\\_MCT\\_FINEP\\_Acao\\_Transversal\\_Nanotecnologia\\_03\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/editais/Chamada_Publica_MCT_FINEP_Acao_Transversal_Nanotecnologia_03_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/Ação Transversal – Nanotecnologia – 03/2005. Resultado. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/acao\\_transversal/resultados/resultado\\_aprovadas\\_Acao\\_Transversal\\_NANOTECNOLOGIA\\_03\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/resultados/resultado_aprovadas_Acao_Transversal_NANOTECNOLOGIA_03_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CUNHA, Fernando (Assessor de Comunicação da Fapesp). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 15/08/2006.
  - DIRETRIZES de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior. 23 p., 26/11/2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8359.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8359.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
  - EDITAL CNPq Nano nº 01/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CNPq Nano nº 01/2001. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado\\_chamada\\_01\\_2001\\_nanociencia.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado_chamada_01_2001_nanociencia.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CT-Energ/CNPq nº 01/2003. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_012003\\_ctenerg\\_cnpq.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_012003_ctenerg_cnpq.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CT-Energ/CNPq nº 01/2003. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq\\_ctenerg012003.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq_ctenerg012003.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CT-FVA/CNPq nº 01/2003. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_012003\\_ctfva\\_cnpq.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_012003_ctfva_cnpq.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CT-FVA/CNPq nº 01/2003. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado\\_fva\\_012003\\_fase1.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado_fva_012003_fase1.htm)> (fase 1) e <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_ct-fva-03fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_ct-fva-03fase2.htm)> (fase 2). Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CT-Petro/CNPq nº 01/2003. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_ctpetro\\_2003.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_ctpetro_2003.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL CT-Petro/CNPq nº 01/2003. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq\\_ctpetro012003.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq_ctpetro012003.htm)>. Acesso em 11/10/2006.

- EDITAL MCT/CNPq nº 12/2004. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0122004\\_cnpq.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0122004_cnpq.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 12/2004. Resultado. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_mct-cnpq122004\\_nano.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_mct-cnpq122004_nano.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 13/2004. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_cnpq\\_132004\\_nanoimpact.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_cnpq_132004_nanoimpact.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 13/2004. Resultado. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_mct-cnpq132004\\_nano.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_mct-cnpq132004_nano.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Energ/MCT/CNPq nº 18/2004. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0182004\\_ctenerg.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0182004_ctenerg.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Energ/MCT/CNPq nº 18/2004. Resultado. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_182004\\_ctenerg.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_182004_ctenerg.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 21/2004 – RHAЕ-Inovação. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0212004\\_rhae.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0212004_rhae.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 21/2004 – RHAЕ-Inovação. Resultado. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_0212004\\_rhae.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_0212004_rhae.htm) e [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_0212004\\_rhae\\_suple.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_0212004_rhae_suple.htm) (lista adicional). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 01/2005 – Programa Institutos do Milênio, 2005-2008. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0105\\_milenio.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0105_milenio.htm). Acesso em 14/01/2007.
- EDITAL MCT/CNPq nº 01/2005 – Programa Institutos do Milênio, 2005-2008. Resultado. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_012005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_012005.htm). Acesso em 14/01/2007.
- EDITAL MCT/CNPq nº 28/2005. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0282005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0282005.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 28/2005. Resultado. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0282005\\_fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0282005_fase2.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 29/2005. Disponível em [www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0292005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0292005.htm). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 29/2005. Resultado. Disponível em

- <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0292005\\_fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0292005_fase2.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 31/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0312005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0312005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL MCT/CNPq nº 31/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0312005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0312005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL MCT/CT-Biotec/CNPq nº 58/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0582005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0582005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - EDITAL MCT/CT-Biotec/CNPq nº 58/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0582005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0582005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
  - FERNANDES, Melina. Fiesp divulga propostas para política nacional de nanotecnologia. *Agência Brasil*, 07/07/2005. Disponível em <[www.radiobras.gov.br/abrnr/brasilagora/materia.phtml?materia=231705](http://www.radiobras.gov.br/abrnr/brasilagora/materia.phtml?materia=231705)>. Acesso em 16/11/2006.
  - GALLINDO, Fabiano (Assessor da Diretoria de Tecnologia da Faperj). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 01/08/2006.
  - GOMES, Anderson S. L. et al. *Programa Nacional de P&D em Nanociências e Nanotecnologias/ Plano de Implementação 2001-2005/ Documento Preliminar para Discussão*. Brasília: CNPq, 44 p., abril/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc](http://www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc)>. Acesso em 11/10/2006.
  - GOMES, Anderson S. L.; MELO, Celso P. de. *A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia*. Brasília: CNPq, novembro/2002. IN: *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 105-135, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cggee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cggee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 14/08/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon; MELO, Lúcia Carvalho Pinto de (coordenadores). *Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira – Livro Verde*. Brasília: MCT/Academia Brasileira de Ciências, 279 p., julho/2001. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/18811.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/18811.html)>. Acesso em 11/10/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon. *O Programa Nacional de Nanotecnologia e o Centro Nacional de Referência em Nanotecnologia*. 9 p., 24/03/2003. Disponível em <[www.lnls.br/info/programaNano\\_a.pdf](http://www.lnls.br/info/programaNano_a.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon et al. *Relatório Final do Grupo de Trabalho Laboratório Nacional de Micro e Nanotecnologias*. 17 p., 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7328.doc](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7328.doc)>. Acesso em 01/09/2006.
  - INSTITUTO Virtual de Nanociência e Nanotecnologia: <<http://inn.vdg.fis.puc-rio.br>>. Acesso em 20/06/2007.

- INSTITUTOS do Milênio (Apresentação, Documento Básico, Projetos Aprovados): <[www.cnpq.br/programasespeciais/milenio](http://www.cnpq.br/programasespeciais/milenio)>. Acesso em 11/10/2006.
- LULA DA SILVA, Luiz Inácio. Discurso do presidente da República na cerimônia de lançamento do Programa Nacional Nanotecnologia. Campinas: 19/08/2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/14842.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14842.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- MEDIDAS de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). 11 p., 31/03/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8360.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8360.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
- O PROGRAMA do PPA 2004-2007: <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/27136.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27136.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PITCE 2 anos. Brasília: ABDI, 50 p., 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8052.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8052.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 192, de 07/04/2005. Diário Oficial da União de 08/04/2005, Seção II, p. 3. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/11766.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/11766.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 252, de 16/05/2003. Diário Oficial da União de 19/05/2003, Seção II, p. 6. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/13574.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/13574.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 346, de 16/07/2004. Diário Oficial da União de 20/07/2004, Seção II, p. 4. Disponível em <[http://ftp.mct.gov.br/legis/portarias/346\\_2004.htm](http://ftp.mct.gov.br/legis/portarias/346_2004.htm)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 614, de 01/12/2004. Diário Oficial da União de 08/12/2004, Seção I, p. 10. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/11847.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/11847.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PROGRAMA 0461 Expansão e Consolidação do Conhecimento Científico e Tecnológico/ Secretaria de Orçamento Federal/ Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão: <<http://sidornet.planejamento.gov.br/docs/cadacao/cadacao2003/downloads/0461.pdf>>. Acesso em 28/05/2007.
- PROGRAMA Nacional de Nanotecnologia: <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/27137.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27137.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PROGRAMA Nacional de Nanotecnologia na Capes: <[www.capes.gov.br/export/sites/capes/download/bolsas/Historico\\_Nanotecnologia.pdf](http://www.capes.gov.br/export/sites/capes/download/bolsas/Historico_Nanotecnologia.pdf)>. Acesso em 22/09/2006.
- PROGRAMAS Típicos do MCT, Programas Multissetoriais e Programas Padronizados, Plano Plurianual – PPA 2004-2007. Assessoria de Acompanhamento e Avaliação/ MCT, 03/10/2003. Disponível em <<http://ftp.mct.gov.br/sobre/ppa/PPA20042007.pdf>>. Acesso em 16/05/2007.
- RELATÓRIO Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT, 68 p., junho/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- REUNIÃO de Trabalho Tendências em Nanociências e Nanotecnologias. CNPq, Notícias, 04/04/2001. Disponível em <[http://memoria.cnpq.br/noticias/noticia05\\_040401.htm](http://memoria.cnpq.br/noticias/noticia05_040401.htm)>. Acesso em 19/07/2006.

- SÁ, Gilberto Fernandes de et al. *Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia (Documento-base/ PPA 2004-2007)*. 28 p., 2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2361.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf)>. Acesso em 18/07/2006.
- SIMÕES, Janaína. Nanotecnologia I: Feira reúne 38 expositores que levaram 100 projetos ou produtos; no Congresso Internacional, estrela foi pesquisador da Unicamp. *Inovação Unicamp*, ed. 67, 13/11/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec061113.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec061113.shtml)>. Acesso em 16/11/2006.
- TOSCANO, Frederico (Funcionário da Facepe). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/08/2006.
- VALENTE, Leonardo. Brasil tem 120 patentes de nanotecnologia. *O Globo*, Rio de Janeiro, 01/07/2005.

## CAPÍTULO 4: HISTÓRIA EXTRA-OFICIAL NO BRASIL

No capítulo anterior, contamos a história da nanotecnologia no Brasil que se encontra nos relatórios e documentos oficiais, elaborados, sobretudo, a partir do ano 2001. O presente capítulo é dedicado à história que antecede às ações coordenadas do governo em nanotecnologia e é narrada a partir dos depoimentos de pesquisadores envolvidos nessa área.

### 4.1) O SLOGAN NANO

Representantes de várias agências americanas se reuniam regularmente para discutir planos para a nanociência e a nanotecnologia. Os encontros, que aconteciam de modo informal desde novembro de 1996, foram oficializados em setembro de 1998, quando os participantes formaram o Grupo de Trabalho Interagência em Nanotecnologia. Esse grupo ficou responsável por analisar a situação da nanociência e da nanotecnologia no mundo e propor estratégias para os Estados Unidos. O primeiro desenho de um plano americano ficou pronto em agosto de 1999. A proposta, então, passou por um processo de aprovação. No orçamento para 2001 da administração Clinton, a nanociência e a nanotecnologia foram colocadas como uma iniciativa federal, a National Nanotechnology Initiative. (*NNI, History*)

Assim, a administração Clinton contribuiu para que o termo nanotecnologia explodisse no cenário mundial, em 2000. (Tabela 1) Não foi à toa que, nesse ano, no Brasil, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), convocou uma reunião sobre o tema, descrita no capítulo anterior. O coordenador-geral de Micro e Nanotecnologias do MCT, Alfredo de Souza Mendes, tem sua versão sobre o que ocorria no Brasil e no mundo na virada do século XXI:

"Já se trabalhava em escala nanométrica há muito tempo, mas não se usava o *slogan* nano. Com o lançamento dos programas americano e japonês, esse *slogan* apareceu no contexto mundial. Era algo nebuloso. Quais as vantagens? Quais os riscos? O setor produtivo ficou em alerta. Conta-se que, certa vez, uma ministra alemã perguntou a uma autoridade brasileira o que fazíamos em nanotecnologia e a autoridade não sabia o que era isso. A coisa era solta, dispersa no Brasil. Decidiu-se mapear as competências no país e já havia competências estabelecidas aqui, por exemplo, em ferrofluidos e *drug delivery*." (MENDES, 2006)

A National Nanotechnology Initiative fez muita gente no Brasil e no mundo despertar para o tema. Mas este, disfarçado de outros nomes, já estava presente para a comunidade científica brasileira. Um exemplo disso é o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). Em 1986, Cylon Gonçalves da Silva assumiu a coordenação de implantação desse Laboratório, inaugurado em 1997.

“Nos documentos iniciais do LNLS nós queríamos construir um laboratório que disponibilizasse instrumentos capazes de estudar matéria no nível atômico em escala nanométrica. Por isso foi tão fácil<sup>1</sup> desenvolver a nanotecnologia no Brasil. Porque ao longo dos anos o país investiu em laboratórios capazes de fazer nanotecnologia e nanociência, sem usar esse termo. A Fapesp investiu pesadamente, o CNPq e a Finep também. Mas o que chamou a atenção do mundo para a nanotecnologia foi o programa americano, lançado pelo governo Clinton em 2000.” (GONÇALVES DA SILVA, 2006)

#### 4.2) NANO: UMA ÁREA “QUENTE”

Antes de 2000, Anderson Gomes, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), já tinha realizado estudos com materiais em nanoescala, mas ainda não havia explorado as propriedades nessas dimensões. “Nesta situação, a gente não está fazendo nanociência ou nanotecnologia”, advertiu o pesquisador em entrevista à autora desta dissertação. Contudo, desde o final da década de 90, ele lia sobre nanotecnologia, porque queria entrar nessa área de pesquisa. A motivação? “Em ciência sempre procuramos – ou deveríamos procurar – áreas promissoras para pesquisa. Percebi que a área era ‘quente’ e procurei entendê-la para aplicar o que já conhecia”, disse.

Por isso, Gomes foi um dos pesquisadores presentes na reunião Tendências em Nanociências e Nanotecnologias, promovida pelo MCT/CNPq em Brasília, em novembro de 2000. Durante o encontro, formou-se um comitê de articulação, encabeçado pelo pesquisador da UFPE.

“Este comitê respondeu a uma colação do então presidente do CNPq: se a comunidade [científica] não se mexesse, seria difícil acontecer alguma coisa. A comunidade se mexeu. O comitê levantou os grupos de pesquisa existentes, identificou pesquisadores líderes e induziu o CNPq a lançar o primeiro edital [Edital CNPq Nano nº 01/2001], que culminou com a formação das quatro redes iniciais [de nanotecnologia].” (GOMES, 2006)

Esse edital estava em gestação quando Cylon Gonçalves da Silva<sup>2</sup> foi atraído pelo tema nanotecnologia. Na época, ele preparava o *Livro Verde* para a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.

“O professor Celso de Melo, da Universidade Federal de Pernambuco, era diretor do CNPq, me procurou e disse: ‘O CNPq deve lançar um edital para redes na área de nanotecnologia’. Aí eu disse para ele: ‘Ótimo. Me envie alguma coisa por escrito sobre isso, que eu encaixo no *Livro Verde*’.” (GONÇALVES DA SILVA, 2006)

Quanto a Anderson Gomes, mesmo após o *Livro Verde*, ele continuou sem atuar como pesquisador em nanotecnologia. Manteve-se atualizado sobre o que acontecia no Brasil e no mundo em relação ao tema e, de 2000 a 2002, ficou na gestão da nanotecnologia, junto à diretoria do CNPq. “Assim, eu ficaria mais isento e poderia contribuir de forma independente para o processo de implantação de um programa coordenado e estratégico na área de nano para o país”, alegou.

Por outro lado, nesse período, Gomes conduzia um grande projeto em outra área (comunicação óptica), o qual, sozinho, contava com mais recursos do que as quatro redes de nanotecnologia criadas em 2001 juntas. “Não tinha como trocar uma coisa pela outra”, disse, tocando em um ponto bastante delicado da pesquisa brasileira em nanotecnologia: o financiamento, que será discutido em outro capítulo.

A partir de 2003, Gomes retomou alguns estudos e preparou seu laboratório para entrar na nanotecnologia. Em 2005, teve seu projeto aprovado no Edital MCT/CNPq nº 29/2005, tornando-se coordenador da Rede de Nanofotônica, no âmbito da Rede BrasilNano.

#### **4.3) ANTES DA REDE BRASILNANO...**

Motivado pelo cenário mundial, o MCT, em 2000, começou a articular uma ação oficial específica para nanociência e nanotecnologia. Contudo, possivelmente, alguns pesquisadores no Brasil já atuavam nessas áreas antes que o uso do prefixo nano se tornasse corriqueiro, ou seja, antes de qualquer ação oficial específica. Uma confirmação de tal hipótese se encontra no último capítulo do livro *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*, cujo autor é Henrique E. Toma, professor do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP) e atual coordenador do Instituto do Milênio de Materiais Complexos. Embora o título do livro faça referência à nanotecnologia como algo típico do século XXI, o último capítulo mostra justamente o contrário: ao falar de suas experiências profissionais, o autor dá a entender que a origem de seus trabalhos em nanotecnologia remonta ao final da década de 70.

Em 1979, Toma foi para o Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) e lá se envolveu com a bioinorgânica. "Foi uma preparação para o meu ingresso na nanotecnologia. A bioinorgânica questiona a função dos elementos nos sistemas biológicos e a função de cada componente biológico", contou ele, no livro (2004, p. 96). De volta ao Brasil, o pesquisador se deparou não só com a dificuldade de extrair, purificar e conservar materiais biológicos, mas também com a carência de recursos financeiros e com a alta competitividade internacional. Foi por isso que, no final dos anos 80, deixou de lado os sistemas biológicos propriamente ditos. "Eu passei a ser mais objetivo: em vez de trabalhar com as biomoléculas in natura, ou seja, como são obtidas na natureza, passei a sintetizar os centros ativos e fazer modificações químicas, incorporando grupos ou moléculas ao seu redor", escreveu Toma (2004, p. 96).

O acoplamento de grupos ou moléculas gera espécies químicas com propriedades diferentes. Era isso que Toma fazia. Foi quando o professor Jean Marie Lehn ganhou o prêmio Nobel de química, em 1987, por seus trabalhos em química supramolecular, área na qual, a partir de moléculas isoladas, gera-se uma estrutura funcional. Toma, então,

constatou que o que ele próprio vinha fazendo se chamava química supramolecular. Convidado pela Sociedade Brasileira de Química (SBQ) a proferir uma palestra sobre a chegada da química supramolecular, no início dos anos 90, Toma lembrou "que ela já estava aqui e que iria modificar a cara da ciência". Da química supramolecular para a nanotecnologia também foi um pulo:

"Eu me sinto como se estivesse montando peças de LEGO, bloquinho por bloquinho para criar uma coisa. No LEGO essa coisa pode ser um avião, um barco, um carrinho, algo que tenha função. Nas moléculas, nós também juntamos esses bloquinhos para criar uma máquina molecular. Uma máquina capaz de ejetar ou expulsar elétrons, transformar luz em eletricidade, produzir movimento, diferença de potencial, fazer ações químicas que cada componente nunca faria sozinho. Quando se fala em máquinas moleculares não há como não entrar no campo da nanotecnologia. De repente, da química supramolecular eu me vi dentro da nanotecnologia. Agora, aquelas moléculas que eu montava eram máquinas e eu tinha que tirar todo o proveito dessas moléculas para produzir algum trabalho, um efeito útil, que é a idéia da nanotecnologia. Hoje, os eventos de nanotecnologia estão pipocando no Brasil inteiro." (TOMA, 2004, p. 96-97)

Dessa forma, não espantaria se um pesquisador, convidado a falar, no ano 2000, sobre a chegada da nanotecnologia no Brasil, afirmasse que ela já estava aqui e que iria modificar a cara da ciência, repetindo as palavras de Toma, no início da década de 90, sobre a química supramolecular. O depoimento de Toma, registrado no livro, serviu como um ponto de partida para a jornalista autora desta dissertação. Ela decidiu pedir a outros pesquisadores, reconhecidamente envolvidos com nanociência e nanotecnologia, que contassem suas experiências, em especial o modo como se engajaram nessas áreas.

A autora entrou em contato, inclusive, com o próprio Toma. No livro, ele havia considerado seu contato com a bioinorgânica, ocorrido há quase 30 anos, uma preparação para o ingresso na nanotecnologia. Contudo, procurado pela jornalista, em um primeiro momento, ele se espantou que a nanotecnologia no Brasil fosse tema de uma dissertação inserida em um programa de pós-graduação em história da ciência. "A nanotecnologia no Brasil é tão recente. Será que ela já tem uma história?", questionou Toma, em conversa telefônica com a autora.

O questionamento do pesquisador não surpreende, na medida em que muita gente considera a história como uma disciplina que trata de algo muito distante no tempo. De fato, neste momento, não é possível olhar a nanotecnologia de fora, porque ela é contemporânea. Mesmo assim, reitera-se a importância de se estudar seu desenvolvimento no Brasil desde agora, para que não se percam informações relevantes, que serão necessárias para uma análise posterior, mais distanciada e aprofundada.

Cabe destacar que, apesar de seu questionamento inicial, Toma não se recusou a responder às perguntas da jornalista. "Essas questões me provocaram um pouco, e foram muito oportunas para que eu pudesse meditar sobre a minha vida profissional. Fiquei

satisfeito em respondê-las", revelou ele, mais tarde, por *e-mail*. (Anexo 1)

Na verdade, nenhum dos pesquisadores com quem a jornalista fez contato se recusou a colaborar, o que não significa que a coleta de dados tenha sido fácil. Em certos casos, devido à agenda lotada do pesquisador, a autora precisou insistir durante meses, com *e-mails* e telefonemas, até conseguir, enfim, efetivar o contato. Por outro lado, muitos pesquisadores disponibilizaram os números de seus celulares e de seus telefones residenciais e aceitaram ser entrevistados à noite, isto é, fora do horário normal de trabalho, o que demonstra a boa vontade deles em contribuir para a realização deste trabalho.

Além de Henrique Toma (USP), Cylon Gonçalves da Silva (Instituto Genius) e Anderson Gomes (UFPE), a lista de pesquisadores entrevistados incluiu outros nomes, em ordem alfabética: Alaor Chaves (UFMG); Belita Koiller (UFRJ); Elson Longo (Unesp/Araraquara); Eronides da Silva (UFPE); Fernando Galembeck (Unicamp); Israel Baumvol (UFRGS); Jacobus Swart (Unicamp); Nelson Duran (Unicamp); Oscar Malta (UFPE); Oswaldo Alves (Unicamp); e Petrus Santa-Cruz (UFPE). A conselho de Alaor Chaves, mais três pesquisadores foram incluídos: José Castro (UFRJ); Marcelo Knobel (Unicamp); e Paulo Morais (UnB). É fato que muitos pesquisadores de renome, infelizmente, tiveram que ficar de fora, visto que o prazo para a realização da pesquisa de mestrado impossibilitou que mais fontes fossem ouvidas.

#### **4.4) APOSENTADO EM NANO?**

Foi rápida a conversa com Alaor Chaves, que coordenou o Instituto do Milênio de Nanociências. Ela não durou nem 15 minutos, mas foi significativa. O pesquisador informou estar desatualizado em nanociência e nanotecnologia, porque não atua mais nessas áreas. Hoje, ele se dedica, sobretudo, a escrever livros de física geral. Isso significa que, de alguma forma, ele se envolveu em um campo considerado novo, ocupou lugar de destaque em uma iniciativa famosa (o Instituto do Milênio de Nanociências) e, depois, parou com esse tipo de atividade. A sensação é de que ele 'se aposentou' em relação à nanociência e à nanotecnologia. Imaginar alguém 'aposentado' em assuntos que estão desabrochando agora é, no mínimo, curioso. Seja como for, Alaor Chaves sugeriu à jornalista que fizesse contato com pesquisadores ainda em atividade nesse setor, destacando que alguns deles foram seus alunos.

Um dos nomes indicados foi o de José d'Albuquerque e Castro, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), hoje co-coordenador do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN). Quando Castro se enveredou por caminhos nanométricos, em meados da década de 80, os termos nanociência e nanotecnologia ainda não eram usados. Na época, nanoestruturas eram descritas como sistemas de baixa dimensionalidade.

"Meus primeiros trabalhos focalizaram estruturas semicondutoras. Nos anos 80, o interesse pela física de sistemas semicondutores cresceu muito no Brasil e foi mais ou menos natural que um pesquisador em início de carreira (meu doutorado é de 1981) se sentisse atraído por uma área onde novos fenômenos físicos estavam sendo descobertos, abrindo novas perspectivas de aplicação tecnológica. Ao final dos anos 80, voltei meu interesse para sistemas magnéticos metálicos de baixa dimensionalidade, que passavam a dividir com os sistemas semicondutores o foco das atenções." (CASTRO, 2007)

Perguntado sobre seus principais resultados em nanociência e nanotecnologia, Castro citou dois trabalhos. No primeiro, de 1994, ele e dois colegas brasileiros formularam uma teoria para explicar um fenômeno que havia sido descoberto, anos antes, em sistemas de multicamadas metálicas. No outro, de 2002, ele e pesquisadores chilenos descobriram relações de escalas em sistemas compostos por nanopartículas magnéticas e propuseram uma nova técnica para o estudo das propriedades desses sistemas.

#### 4.5) UNIDOS PELO MAGNETISMO

O tema magnetismo aproxima a trajetória de Castro à de Paulo Morais, do Instituto de Física da Universidade de Brasília (UnB). Hoje à frente da Rede Brasileira de Nanobiomagnetismo, Morais pode ser considerado um veterano em nanociência e nanotecnologia. Seu primeiro contato com essas áreas foi durante o mestrado, de 1978 a 1980, na própria UnB. Ele estudava o tema superparamagnetismo, "um fenômeno descrito no final da década de 50, hoje completamente inserido em nanociência e nanotecnologia", nas palavras do pesquisador em *e-mail* para a autora desta dissertação. Contudo, quando Morais fazia o mestrado, o termo nano não era usado. Para se referir ao tamanho de sistemas bem pequenos, Morais utilizava uma unidade de medida chamada Angstrom, que é ainda menor do que o nanômetro: um Angstrom equivale a um décimo de nanômetro. Quase dez anos depois, no pós-doutorado, nos Estados Unidos, entre 1987 e 1988, ele continuava trabalhando com sistemas de dimensões nanométricas, embora o termo nano permanecesse no anonimato. "Sempre estive trabalhando com materiais nano, apenas por perceber que estes materiais têm propriedades muito diferenciadas dos materiais não-nano, tipo micro. Curiosamente, nós, mais antigos na área, só descobrimos recentemente que estávamos fazendo nano", disse.

De modo fortuito, Marcelo Knobel, do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), também chegou à nanoescala via magnetismo. "Queria trabalhar com magnetismo, mas em 1988 surgiram novos materiais nanocristalinos com propriedades interessantes. O trabalho em nano foi, então, uma coincidência", contou Knobel, por *e-mail*, à autora desta dissertação. A tese de doutorado de Knobel pode ser considerada pioneira em nanotecnologia na Unicamp (*Pró-reitoria de Pesquisa/Unicamp*, 2005) O título do trabalho, defendido em 18 de dezembro de 1992, foi *Estudo do Desenvolvimento de Materiais Nanocristalinos: Magnetismo e Estrutura*.

#### 4.6) NANO DESDE A INICIAÇÃO CIENTÍFICA

O doutorado marcou o primeiro contato de Knobel com nanociência e nanotecnologia. Porém, há quem tenha mergulhado nesse campo ainda na iniciação científica. Foi o caso de Petrus Santa-Cruz, do Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Questionado pela jornalista sobre seus primeiros trabalhos, Santa-Cruz estabeleceu a distinção entre nanociência ("é a mesma coisa, mas em outra escala") e nanotecnologia ("é mudança radical"). Em nanociência, ele começou a atuar no início da década de 80, estudando nanopartículas metálicas para aumento da luminescência de lantanídeos, o que rendeu publicação no *Journal of Luminescence* (vol. 33, p. 261-272, 1985). Em 1990, Santa-Cruz foi fazer doutorado na França, onde estudou uma vitrocerâmica, com nanocristais, para aplicações laser. Retornou ao Brasil em 1995, quando começou a fazer nanotecnologia, inclusive com depósitos de patentes na área. "Hoje, nanotecnologia é modismo, mas, naquela época, o termo ainda era pouco falado", disse Santa-Cruz, que fundou e dirige a empresa Ponto Quântico, além de ser coordenador de inovação da Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces (Renami).

O coordenador-geral da Renami, Oscar Malta, também do Departamento de Química Fundamental da UFPE, foi orientador de Santa-Cruz na iniciação científica. Malta foi o primeiro autor daquele trabalho sobre a influência de nanopartículas metálicas no processo de luminescência de íons lantanídeos, publicado no *Journal of Luminescence*. "O prefixo nano não era usado. As nanopartículas de prata usadas eram, então, chamadas de pequenas partículas de prata", lembrou Malta, que também considera esse trabalho como o seu primeiro em nanociência, mas não em nanotecnologia, visto que se tratava de um estudo básico, do fenômeno em si. Segundo Malta, em meados dos anos 90, tiveram início as pesquisas com sistemas supramoleculares ou, mais especificamente, com complexos de íons lantanídeos altamente luminescentes e suas aplicações. "A síntese dos complexos requer técnicas de arquitetura molecular, para se ter controle sobre a estrutura, que terá uma funcionalidade. Requer, portanto, nanotecnologia. Mas só se passou a usar esse jargão nano quando ele surgiu no cenário internacional", disse.

Malta explicou que, atualmente, há pesquisas que visam produzir diodos orgânicos emissores de luz (OLEDs) com complexos de íons lantanídeos. Os OLEDs são usados em displays (telas) de telefones celulares e de máquinas fotográficas digitais, mas os dispositivos que existem hoje não utilizam complexos de íons lantanídeos. Esses complexos também estão sendo preparados para aplicações em diagnósticos médicos, mais especificamente em fluoroimunoensaios. Esse tipo de ensaio já utiliza complexos de íons lantanídeos, porém importados. Contudo, Malta adiantou que já foi desenvolvido um protótipo nacional para detecção de câncer de próstata e estão em andamento estudos para leishmaniose.

De acordo com Malta, as pesquisas para aplicações de complexos de íons lantanídeos começaram antes da criação da Renami. Como exemplos de trabalhos que tiveram início antes da criação da rede, ele citou um dosímetro de radiação UV para uso pessoal, associado a Santa-Cruz, e a otimização de células solares, associada a Eronides Silva, do Departamento de Física da UFPE, que coordenou a Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (NanoSemiMat).

Silva é outro antigo representante da nanotecnologia no Recife. Segundo ele, um de seus trabalhos mais citados foi publicado na *Coordination Chemistry Reviews* (vol. 196, n. 1, p. 165-195, 2000). O artigo, que trata de complexos de íons lantanídeos altamente luminescentes, foi realizado em conjunto com os colegas do Departamento de Química Fundamental da UFPE.

Mas o artigo em 2000 não foi o primeiro trabalho de Silva na nanoescala. O pesquisador contou ter começado a trabalhar na área no início da década de 80, quando fez doutorado nos Estados Unidos. Ele estudou materiais com dimensões de 50 nanômetros utilizados em tecnologia do chip.

“Nano é uma palavra recente. Já se faz pesquisa há muito tempo, só que com outros nomes. Nos anos 90, na física, se usava muito a expressão novos materiais, área em que a nano está inserida hoje. O Projeto Genoma é nano também. Nano é uma evolução natural da ciência e da tecnologia. Chegamos às dimensões nanométricas. No futuro, poderemos chegar ao pico ( $10^{-12}$  metros). Em 2000, o governo brasileiro despertou para a nanociência e a nanotecnologia, mas já havia no país material humano em atividade nessas áreas.” (SILVA, 2006)

Antes da criação da Rede NanoSemiMat, Silva havia montado uma sala limpa, ambiente adequado à manipulação em nanoescala. A origem dessa sala foi um apoio da Facepe, no valor de US\$ 75 mil, entre 1992 e 1994. Hoje, Silva avalia em US\$ 25 milhões a infra-estrutura de seu laboratório.

#### **4.7) NEM SEMPRE HÁ UM MARCO INICIAL**

Alguns pesquisadores conseguem identificar, ainda que de forma aproximada, o momento em que entraram no mundo nanométrico. Mas isso nem sempre é possível. Israel Baumvol, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), não determinou um ponto específico a partir do qual se engajou em nanociência e nanotecnologia. “Fui naturalmente envolvido, porque trabalhava com materiais para microeletrônica e me vi obrigado a lidar com dimensões nanoscópicas, há uns dez ou 12 anos, ou seja, bem antes da nanotecnologia entrar na moda”, frisou Baumvol, que coordenou a Rede de Pesquisa em Materiais Nanoestruturados (Nanomat).

No final dos anos 90, Baumvol, em parceria com empresas americanas, já tinha

resultados significativos, como um dielétrico de portas com espessura equivalente menor que um nanômetro, dentro da tecnologia do silício. O pesquisador também ressaltou que, desde antes do ano 2000, seu grupo é referência internacional em nanometrologia, para medir a distribuição em profundidade de elementos químicos a partir da superfície com resolução nanométrica, na caracterização de materiais.

Na mesma linha Baumvol, Belita Koiller, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), não vê sentido em se falar de um primeiro contato com a nanociência ou a nanotecnologia.

“A ciência é contínua, está em constante evolução. Eu trabalhava com ligas, dopantes e física de semicondutores, em ciência básica. A tendência nessa área era a miniaturização, por demanda da indústria, por pressão do consumidor. Então, comecei a trabalhar em escala nano e estudar os efeitos. Comecei antes de vir a moda da nomenclatura nano, que é marketing – inovar no nome para conseguir financiamento.” (KOILLER, 2006)

Belita trabalha na área de física teórica e hoje estuda, por exemplo, um suporte físico para tornar possível a computação quântica. “A física pode ser teórica, mas ela tem que tratar de possibilidades reais. Os efeitos nanoscópicos não eram possíveis de serem estudados quando fiz doutorado [1972-1975]. Com os avanços dos equipamentos, passei a focalizar a escala nano”, afirmou a pesquisadora, atual coordenadora do Instituto do Milênio de Nanotecnologia, para o qual ela contribui com estudos sobre até que ponto é viável e vantajosa a redução das dimensões de dispositivos baseados em semicondutores para aplicações atuais.

Enquanto Belita comentou seu trabalho em física teórica, Elson Longo, hoje na Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara, falou de sua experiência em química teórica. “Desde 1972, trabalho com química teórica, logo pesquisando em nível molecular – moléculas esquistossomicidas e enzimas do sistema digestivo (serinoproteases). Desta forma, faz mais de 30 anos que trabalho em nível nano”, contou Longo, diretor do Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos (CMDMC), que reúne grupos de pesquisa de diferentes instituições<sup>3</sup>.

Em relação à nanotecnologia, “explicitamente falando”, Longo disse realizar trabalhos desde 1996, quando seu grupo do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (Liec) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) desenvolveu uma proteção cerâmica em cadinhos de alto forno para a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). “Esta proteção foi de nanopartículas de titânia que, ao interagirem com óxido de cálcio, formam titanato de cálcio e protegem o cadinho da corrosão. Com isso, aumentamos a vida média do cadinho”, explicou o pesquisador, que já participou da produção de dois DVDs sobre nanociência/nanotecnologia. Longo pareceu acostumado a lidar com a imprensa, assim como a maioria dos pesquisadores entrevistados pela autora desta dissertação.

Embora, atualmente, muito se fale de nanociência e, sobretudo, de nanotecnologia, as definições dessas palavras e a distinção entre elas ainda estão sujeitas a dúvidas. Perguntado sobre seu primeiro contato com a nanotecnologia, Jacobus Swart, da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp, foi cauteloso.

“Isto é complicado responder, tendo em vista a fluidez do termo nanotecnologia. Considerando nanotecnologia a utilização de estruturas com dimensões nanométricas, a engenharia de defeitos em cristais pode ser considerada nanotecnologia. Trabalhei com este tema ao final dos anos 70. Porém, a fabricação de dispositivos com dimensões estruturais em escala nanométrica é mais recente, final da década de 90.” (SWART, 2007)

Os estudos de Swart, após o ano 2000, passaram a incluir processos de litografia eletrônica combinados com corrosão por plasma, síntese de nanotubos de carbono e nano-agregados de Si em matriz de óxido de silício. E o que motivou o pesquisador a trabalhar na área? “É a evolução natural da microtecnologia. Desde minha formatura trabalho na área de microeletrônica, que evoluiu para nanoeletrônica”, respondeu Swart, que está à frente do Instituto do Milênio de Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes.

#### **4.8) NANO COMO UM PASSO NATURAL**

Ingressar no mundo nanométrico também aconteceu naturalmente para o químico da Unicamp Nelson Duran, especializado em biotecnologia e acostumado a lidar com enzimas, fármacos e microrganismos. “A dimensão nano está presente na bioquímica celular, de modo que, para mim, entrar na nanobiotecnologia foi como um passo natural”, disse o pesquisador.

Mesmo sem precisar quando se deu a mudança de biotecnologia para nanobiotecnologia, Duran fez uma distinção entre a pesquisa antes e depois do prefixo nano ser adotado.

“Antes, tínhamos pesquisa básica, para explicação de fenômenos, visando a publicações científicas. Depois, a pesquisa em si não sofreu tanta modificação. O que mudou foi o foco: além de publicar, o objetivo passou a ser também a aplicabilidade (produtos), inclusive social (fármacos para tuberculose, malária e esquistossomose).” (DURAN, 2006)

Em 2001, ao assumir a coordenação da Rede de Nanobiotecnologia (Nanobiotec), que reuniu pesquisadores de diferentes instituições do país, Duran constatou que muita gente já tinha experiência na nanoescala. “Ficou claro que muitos grupos, sobretudo de Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul, já tinham bastante conhecimento prévio. Eram pesquisadores que fizeram doutorado na França, em sua maioria. Juntamos esse know-how na rede”, resumiu.

Duran citou um trabalho que considera exemplar quando o assunto é a origem da nanotecnologia no Brasil. Trata-se de um projeto conduzido por outro pesquisador do

Instituto de Química da Unicamp, Fernando Galembeck, ex-coordenador do Instituto do Milênio de Materiais Complexos. Esse projeto levou à criação de um novo pigmento branco, patenteado e publicado nos anos 90.

Patente<sup>4</sup> relativa ao Processo de Obtenção de Pigmentos Brancos foi depositada no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) em 1991, sob o número PI9104581-9, mas nem no título nem no resumo consta o prefixo nano. Em 1995, foi assinado um contrato com a empresa Serrana. Em 2005, o produto Biphor – pigmento branco de fosfato de alumínio baseado em nanotecnologia – foi lançado pela Bunge, empresa à qual a Serrana passou a pertencer. (GALEMBECK, 2006) Desde 2006, a tecnologia brasileira consta em base de dados do United States Patent and Trademark Office (U.S. Pat. Appl. Publ. 20060045831).

“Em relação ao Biphor, há hoje uma planta que produz uma tonelada por dia, uma quantidade relativamente pequena, usada para fazer amostras distribuídas aos fabricantes de tintas, de modo que eles possam estudar e experimentar o pigmento. O Biphor está no mercado? Sim, mas nada é faturado ainda. Produção em escala maior, para faturamento, só em 2009. Desde o início até aqui, foram 20 anos de estudos.” (GALEMBECK, 2007)

Galembeck e Oswaldo Alves, do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES) da Unicamp, já realizaram estudo conjunto importante. Com medidas de microscopia eletrônica de transmissão, eles e outros pesquisadores confirmaram, em vidros dopados, a presença de cristais semicondutores de tamanho nanométrico (5,5 nanômetros), os chamados *quantum dots*. O trabalho, com diversos autores, foi publicado na revista *Applied Physics Letters* (vol. 59, n. 21, p. 2715-2717, 1991). Ainda na década de 90, patente sobre o assunto foi depositada no INPI.

Alves ingressou nesse trabalho por volta de 1987, quando participava de um projeto da Unicamp com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás, visando a materiais para telecomunicações e fotônica. "A idéia, na época, era a obtenção de vidros dopados com nanocristais semicondutores da família II-IV dentro da perspectiva de desenvolvimento de materiais com propriedades ópticas não-lineares", contou o pesquisador, que já tinha resultados em nanotecnologia antes do ano 2000. (Anexo 2) Contudo, ele frisou que:

"nanotecnologia é uma temática, pelo menos do ponto de vista conceitual, onde não existe o antes e o depois. Vimos acompanhando o seu desenvolvimento e realizando pesquisas desde o início, ou seja, desde a fase anterior a 1987, quando tais estudos eram tratados como fazendo parte da grande área de sistemas mesoscópicos". (ALVES, 2007)

#### **4.9) CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO**

Nas considerações finais deste capítulo, é conveniente retornar às definições de nanociência e nanotecnologia apresentadas na introdução desta dissertação. Para os propósitos deste trabalho, foi considerado, inicialmente, que "os termos nanociências e

nanotecnologias se referem, respectivamente, ao estudo e às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor que, ou da ordem de, algumas dezenas de nanômetros" (MELO; PIMENTA, agosto/2004, p. 17) Trata-se de uma definição válida, mas ela não deixa claro se estão sendo exploradas propriedades especiais associadas às dimensões nanoscópicas desses objetos e dispositivos.

Como visto neste capítulo, há pesquisadores que consideram a exploração de tais propriedades diferenciadas como uma exigência para que uma pesquisa seja definida como nanociência ou nanotecnologia. Há, também, pesquisadores que só fazem essa exigência quando se trata da definição de nanotecnologia, que seria a novidade, e consideram nanociência algo antigo, que remonta aos tempos de Demócrito e toda a filosofia a respeito da existência dos átomos.

Diante das diferentes concepções que os pesquisadores têm sobre nanociência/nanotecnologia, constatou-se, às vezes, durante as entrevistas, que eles podiam até fazer trabalhos similares antes de 2000, mas somente alguns consideraram que esse trabalho já era nanotecnologia. Não cabe à autora desta dissertação julgar o mérito do trabalho dos pesquisadores entrevistados. O que se pretende destacar é que, antes de 2000 e, portanto, antes das ações oficiais específicas do governo, já havia, no Brasil, desde os estudos apenas com redução de escala até as pesquisas visando à aplicação tecnológica dos efeitos diferenciados que surgem nas dimensões nanométricas.

Em outras palavras, pode-se dizer que os pesquisadores já se familiarizavam com a nanotecnologia há algum tempo, mesmo que o prefixo nano não fosse usado. Como visto neste capítulo, antes, nano tinha outros nomes – como sistemas de baixa dimensionalidade e pequenas partículas – e se inseria em diferentes contextos – como química supramolecular, superparamagnetismo, biologia celular e molecular. Isso sugere que, em determinadas situações, a nanotecnologia pode ser "uma questão de linguagem, mais do que de real novidade conceitual" (GALEMBECK; RIPPEL, 2004, p. 84)

Outro ponto importante: quando questionados sobre as origens da nanotecnologia, muitos pesquisadores lembram que os efeitos de nanopartículas já são aproveitados no mundo há muito mais tempo, na borracha do pneu, na revelação fotográfica, nas paredes do antigo jarro Salus etc. Esses casos serão analisados mais profundamente em outro capítulo, mas, por hora, ressalta-se que eles são exemplos de nanotecnologia empírica, isto é, não havia o modelo científico para explicá-los.

Embora reconheçam que existe uma nanotecnologia empírica e que esta é antiga, os pesquisadores quase sempre sublinham o caráter revolucionário de uma nanotecnologia recente.

"Prevê-se que a N&N [Nanociência & Nanotecnologia] 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." (GONÇALVES DA SILVA, 2005, p. 13)

Na defesa desse caráter revolucionário, alguns pesquisadores fazem uma distinção entre a nanotecnologia com precedentes e a sem precedentes, sendo esta segunda a verdadeiramente revolucionária. A nanotecnologia com precedentes envolveria a nanotecnologia empírica e também uma nanotecnologia relativamente nova, mas baseada em determinados conhecimentos prévios. A nanotecnologia sem precedentes estaria emergindo agora, de um conhecimento científico e de um controle crescentes sobre a matéria, algo associado à abordagem *bottom-up*, de baixo para cima, de manipulação átomo por átomo, molécula por molécula.

Curiosamente, apesar de haver muitos defensores do caráter inovador e revolucionário da nanotecnologia, ao mesmo tempo, não faltam exemplos de pesquisadores que dizem ter abraçado essa área porque ela representava a evolução natural dos trabalhos que eles desenvolviam, inclusive dentro da abordagem apontada por alguns como mais tradicional, *top-down*, de cima para baixo, relativa à miniaturização.

## NOTAS

<sup>1</sup> Há controvérsias quanto à facilidade de desenvolver a nanotecnologia no Brasil e ao investimento pesado na área, mas tais questões serão analisadas em outro capítulo.

<sup>2</sup> Atualmente, Cylon Gonçalves da Silva está à frente do Instituto Genius. Ele já foi consultor do MCT na área de nanotecnologia e secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento.

<sup>3</sup> O CMDMC é um dos dez Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

<sup>4</sup> Às vezes, quando se fala de patente, não se refere à patente propriamente dita, mas sim a alguma etapa do processo para obtê-la, que pode levar anos e começa com o depósito do pedido de patente.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Oswaldo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 12/03/2007.
- BAUMVOL, Israel. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 30/10/2006.
- CASTRO, José d'Albuquerque e. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 04/03/2007.
- CHAVES, Alaor. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 02/03/2007.
- DURAN, Nelson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 27/11/2006.

- GALEMBECK, Fernando; RIPPEL, Márcia Maria. *Nanotecnologia: estratégias institucionais e de empresas*. Campinas: 109 p., outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7608.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7608.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- GALEMBECK, Fernando. *Laboratório, protótipo e mercado – Os caminhos da nanotecnologia*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- GALEMBECK, Fernando. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.
- GOMES, Anderson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail e telefone, em 03/11/2006.
- GONÇALVES DA SILVA, Cylon. (coordenador) *Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia: Relatório Final*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 128 p., 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/2181.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/2181.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- GONÇALVES DA SILVA, Cylon. IN: OLIVEIRA, Marcos de. Físico, político, executivo. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 129, novembro/2006. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3104&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3104&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 17/03/2007.
- INSTITUTO Nacional de Propriedade Industrial (INPI): <[www.inpi.gov.br](http://www.inpi.gov.br)>. Acesso em 14/03/2007.
- KNOBEL, Marcelo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.
- KOILLER, Belita. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, presencialmente, em 06/11/2006.
- LEVANTAMENTO da Nanotecnologia na Unicamp. Campinas: Pró-Reitoria de Pesquisa, 151 p., abril/ 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8418.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8418.pdf)>. Acesso em 07/07/2007.
- LONGO, Elson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 30/11/2006.
- MALTA, Oscar. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 28/11/2006.
- MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e Nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 9-22, agosto/2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- MENDES, Alfredo de Souza. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 29/12/2006.
- MORAIS, Paulo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.
- NATIONAL Nanotechnology Initiative, History: <[www.nano.gov/html/about/history.html](http://www.nano.gov/html/about/history.html)>. Acesso em 05/02/2007.
- SANTA-CRUZ, Petrus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.
- SILVA, Eronides. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 28/11/2006.

- SWART, Jacobus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 06/03/2007.
- TOMA, Henrique E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina de Textos, 105 p., 2004.
- TOMA, Henrique E. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 25/10/2006, e por e-mail, em 12/03/2007.
- UNITED States Patent and Trademark Office (USPTO): <[www.uspto.gov](http://www.uspto.gov)>. Acesso em 14/03/2007.

## CAPÍTULO 5: AS REDES

O Capítulo 4 mostrou que pesquisadores já vinham trabalhando em nanotecnologia no Brasil antes da ação coordenada do MCT para essa área, iniciada no final do ano 2000. O Capítulo 3, por sua vez, mostrou que uma das primeiras iniciativas do MCT foi incentivar que competências em nanotecnologia já existentes no país se organizassem em redes – que são o tema do presente capítulo.

A criação de redes foi, inclusive, uma estratégia recomendada pelo Comitê de Articulação formado durante a Reunião de Trabalho Tendências em Nanociências e Nanotecnologias, promovida pelo CNPq/MCT em novembro de 2000, em Brasília. Em documento divulgado em abril de 2001, o Comitê relata o que já vinha sendo feito no Brasil e no mundo a esse respeito. Por exemplo, cita que a Rede de Pesquisa em Micro e Nanotecnologias, instalada na França em 1999, reunia centenas de pesquisadores de universidades e indústrias. Cita também que já havia um movimento para a formação de redes de nanotecnologia no Rio de Janeiro e em Belo Horizonte, bem como o país já interagiu com iniciativas internacionais, mais especificamente ibero-americanas. (GOMES et al, 2001) Dessa forma, o Edital CNPq Nano nº 01/2001 ajudou a consolidar e oficializar uma tendência nacional e internacional de formação de redes.

Esse edital, como visto no Capítulo 3, visava formar Redes Cooperativas de Pesquisa Básica e Aplicada em Nanociências e Nanotecnologia. Doze propostas foram pré-selecionadas, a maioria de São Paulo e Pernambuco. Os pesquisadores responsáveis por essas propostas foram convocados para uma reunião, no dia 27 de setembro de 2001, que definiria as redes. Alguns deles contaram à autora desta dissertação que o objetivo era articulá-los e agrupá-los em um número menor que 12 redes, visto que não havia recursos suficientes para todas as propostas. Esse relato está de acordo com o resultado do edital, que criou quatro redes: Materiais Nanoestruturados (Nanomaterial); Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces (Renami); Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia (Nanobiotec); e Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (NanoSemiMat). Divididas em sub-redes, elas contemplavam temáticas variadas dentro da nanociência e da nanotecnologia.

"De janeiro a dezembro de 2002, os pesquisadores integrados às 4 redes de nanotecnologia existentes no país produziram aproximadamente 1100 publicações em periódicos internacionais, depositaram 17 patentes em N&N [nanociência e nanotecnologia] e realizaram mais de 200 apresentações em eventos internacionais. Foram criados produtos como a 'língua eletrônica', nanodosímetro de radiação UV [ultravioleta], fotodetector de radiação ionizante, nanoestruturas de memória Flash, vacinas por transferência gênica, fármacos de liberação controlada e circuitos integrados à base de silício." (SÁ et al, 2003, p. 16)

Mais tarde, em 2003, quando foi lançado o documento-base do Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, no âmbito do PPA 2004-2007, as

redes, mais uma vez, ganharam destaque. O documento previa não só apoio para as quatro redes já existentes, mas também a implantação de novas.

Em 2005, foi lançado um novo edital que tinha como objetivo "dar continuidade ao processo de expansão e consolidação de competências nacionais em Nanociência, Nanotecnologia e Nanobiotecnologia, apoiando a formação de Redes Cooperativas Integradas de Pesquisa Básica e Aplicada" (*Editais MCT/CNPq nº 29/2005*).

O novo edital contava com recursos do MCT e dos Fundos Setoriais, e estava associado à Rede BrasilNano<sup>1</sup>. Ele resultou em dez novas Redes de nanotecnologia. Na verdade, nove novas redes, porque uma delas era a Renami, existente desde o edital de 2001, com o mesmo coordenador: Oscar Malta (UFPE). Além disso, as outras nove redes também não eram tão novas assim. Muitas delas eram coordenadas por pesquisadores que haviam participado, de alguma forma, das redes criadas em 2001. Exemplos: Eudenilson de Albuquerque (UFRN), coordenador da nova Rede Nacional de NanoBiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados (NanoBioEstruturas), participava da antiga Rede NanoSemiMat; Silvia Guterres (UFRGS), coordenadora da nova Rede Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas, participava da antiga Rede Nanobiotec; Adalberto Fazzio (USP), coordenador na nova Rede Simulação e Modelagem de Nanoestruturas, participava da antiga Rede Nanomat.

Por fim, cabe mencionar que as antigas Redes Nanomat, Nanobiotec e NanoSemiMat, embora não tenham tido continuidade formal no âmbito do Edital MCT/CNPq nº 29/2005 (BrasilNano), mantiveram trabalhos cooperativos entre os grupos integrantes. Até porque certos vínculos nessas redes, alguns deles existentes desde antes do edital de 2001, não foram desfeitos e as parcerias continuaram.

### **5.1) Rede Nanomat**

A Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados (Nanomat) era coordenada por Israel J. R. Baumvol, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). De acordo com o Currículo Lattes de Baumvol, ele fez pós-doutorado na University of Sheffield, na Inglaterra, e tem vasta experiência internacional: Lucent Technologies - Bell Laboratories e IBM Research Center, nos Estados Unidos, Ruhr-Universität e Universität Heidelberg, na Alemanha, e Université de Paris são instituições pelas quais já passou. O tema de pesquisa materiais para microeletrônica é recorrente em seu currículo, onde o prefixo nano aparece 13 vezes, sendo as referências mais antigas a esse termo de 1995.

Baumvol, que foi diretor-presidente da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) por pouco menos de um ano, considera que, para um cientista, é difícil cuidar de questões administrativas e financeiras relativas às pesquisas. Ele

contou à autora desta dissertação que, no caso da Rede Nanomat, o gerenciamento era especialmente complicado. Disse que os recursos destinados à Nanomat eram depositados em sua conta pessoal e que cabia a ele decidir, "usando o bom senso", como distribuir o dinheiro entre os projetos de pesquisa da rede. Baumvol contou também que julgava essa tarefa estressante e que passou a coordenação da rede para Daniel Ugarte, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS).

Até 2005, a Nanomat envolveu cerca de 150 pesquisadores de 23 instituições<sup>2</sup> e produziu 225 artigos, além de ter formado 106 estudantes (17 de iniciação científica, 40 de mestrado e 49 de doutorado). (UGARTE, outubro/2004) De acordo com o site <[www.if.ufrgs.br/~israel](http://www.if.ufrgs.br/~israel)>, a rede já vinha "funcionando de modo informal desde o final da década de oitenta, através de algumas sub-redes temáticas que estabeleceram-se espontaneamente entre os laboratórios". Sendo assim, a Nanomat assumiu a missão de articular, fortalecer e ampliar as iniciativas existentes, aproveitando-se da infra-estrutura já disponível nos laboratórios de universidades e centros de pesquisa do país. O objetivo geral era "a produção e o estudo experimental e teórico de materiais cujas propriedades dependam diretamente das características de sua nanoestrutura". (<[www.if.ufrgs.br/~israel](http://www.if.ufrgs.br/~israel)>)

Além disso, o site diz que, entre os resultados esperados da Nanomat, estava a interação com o setor produtivo. Ele cita, inclusive, algumas cooperações que já existiam entre grupos de pesquisa integrantes da rede e empresas, como Petroflex (revestimentos anti-adesivos), Ericsson (dispositivos de telecomunicações), Acesita e Belgo-Mineira (melhorias em aços).

Contudo, em conversa telefônica, quando perguntado sobre interações com a iniciativa privada, Baumvol respondeu que "a indústria brasileira de microeletrônica é inexistente, o que elimina a possibilidade de cooperações no contexto nacional" (2006). Ele disse também que, para fazer pesquisa em micro e nanoeletrônica, é imprescindível recorrer à infra-estrutura de instituições estrangeiras.

O trabalho da Nanomat pode ser dividido em três fases. A primeira caracterizada pela prospecção de colaborações, com visitas, discussões e *workshops*. A segunda e a terceira com projetos apoiados, contemplando temáticas como nanotubos de carbono, pontos quânticos, nanoestruturas magnéticas, semicondutores e modelagem computacional. (UGARTE, outubro/2004)

## 5.2) Renami

Das quatro redes criadas pelo Edital CNPq Nano nº 01/2001, somente uma continuou formalmente no âmbito do Edital MCT/CNPq nº 29/2005: a Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces (Renami).

“O objetivo geral da RENAMI é estabelecer uma cooperação efetiva entre grupos de pesquisa no Brasil que dominam o conhecimento de técnicas complementares, experimentais e teóricas, formando recursos humanos altamente qualificados para a investigação e preparação de materiais avançados, além de dar apoio a empresas de base tecnológica, por meio de oferta de pessoal de alto nível, consultoria, projetos de pesquisa e desenvolvimento em parceria e transferência de tecnologia.” ([www.renami.com.br](http://www.renami.com.br))<sup>3</sup>

Inserida no edital de 2001, a Renami passou pelas fases de estruturação (2001-2003) e consolidação (2003-2005). Agora, inserida no edital de 2005, uma das estratégias é a integração com o setor industrial. Na fase atual, denominada Estágio III, os temas da Renami - química molecular e supramolecular; filmes finos e interfaces; eletrônica e fotônica molecular; e materiais nanoestruturados moleculares - são direcionados à interação universidade-indústria baseada em inovação. (SANTA-CRUZ, 2006)

Pode-se citar, por exemplo, a aproximação da Renami com a Alcoa, para o monitoramento da rugosidade *in situ* dos cilindros de laminação de folhas finas de alumínio por microscopia de força atômica; com a Syngenic, para o desenvolvimento de biochips para diagnóstico molecular de câncer de pele, e com a Bluecare, do grupo Balaska, para o licenciamento de nanodosímetros moleculares de UV. Além disso, integram a Renami empresas incubadas por pesquisadores da rede, como a Ponto Quântico.

Desde sua criação, a coordenação geral da Renami está a cargo de Oscar Manoel Loureiro Malta, do Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Malta fez pós-doutorado no Centre National de la Recherche Scientifique, na França, e, em seu Currículo Lattes, o prefixo nano aparece 13 vezes, sendo a referência mais antiga a esse termo de 2002.

A Renami “é o resultado da fusão de três redes originalmente nucleadas no Departamento de Química Fundamental da UFPE e na Coppe-RJ, no Instituto de Química da USP, e no Instituto de Macromoléculas da UFRJ” (MALTA, 2002). As interações dessas redes se consolidaram e ampliaram com as participações de diversas outras instituições, inclusive estrangeiras<sup>4</sup>.

Até 2005, a Renami envolvia 61 pesquisadores, tendo gerado 450 artigos e 57 patentes. (MCT, junho/2006) No estágio atual, já são mais de cem pesquisadores. (SANTA-CRUZ, 2006) Além de promover encontros entre seus integrantes, a Renami também apresenta seus resultados e produtos em eventos internacionais, como NanoFair, NanoTech e NanoEuroForum.

Ancorado na Renami, o Laboratório Associado de Nanodispositivos Fotônicos (LAND-Foton), no Departamento de Química Fundamental da UFPE, tem como braço tecnológico a empresa incubada Ponto Quântico. O fundador e pesquisador responsável da empresa é Petrus Santa-Cruz, professor da UFPE e coordenador de inovação da Renami.

Apontada como a primeira empresa brasileira de nanotecnologia, criada em 2000, a Ponto Quântico tem como estratégia desenvolver e licenciar produtos para produção em larga escala por outras companhias.

"A Ponto Quântico tem seis produtos nanotecnológicos nas áreas de meio ambiente e saúde em fase de desenvolvimento de protótipo, organizados em um ranking de prioridades de lançamento. [...] Quem ocupa o topo da lista é o n-Domo, [...] surgido a partir da tese de doutorado de Cristiana Gonçalves Carneiro, defendida em 2002. Segundo Petrus, trata-se do primeiro equipamento pessoal para medir a exposição à radiação UV. A dosagem é feita por uma molécula instalada em uma pequena área do crachá de identificação dos operários de uma fábrica, por exemplo. Terminado o expediente, os trabalhadores passam seus crachás por um leitor, que identifica a quantidade de radiação UV que incidiu sobre cada um. As informações são analisadas por um software, que alerta quando o nível de exposição for superior ao recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para o período em questão. Se isso ocorrer, torna-se necessário o uso de equipamentos de proteção individuais. [...] O n-Domoled é o segundo produto no ranking de prioridades da Ponto Quântico. Ele é resultado do doutorado de Patrícia Nóbrega. [...] O diferencial do n-Domoled em relação ao dispositivo anterior é o fato de ele permitir que o próprio trabalhador confira, a qualquer momento, a quantidade de radiação UV que está recebendo. Essa característica, diz Petrus, faz com que o dosímetro seja mais indicado para quem trabalha ao ar livre, como os guardas de trânsito. [...] O que possibilita a conferência imediata da dosagem de UV no n-Domoled são os oleds, moléculas orgânicas que emitem luz quando há passagem de corrente elétrica. A intensidade da luz vai diminuindo conforme aumenta a exposição à radiação, medida pela mesma molécula usada no n-Domo. O n-Domoled divide o segundo lugar das prioridades da Ponto Quântico com o SPA-Foton, um sensor para detectar poluentes metálicos em água potável que tem origem na tese de doutorado de Israel Costa, defendida em 2004. O equipamento absorve uma certa quantidade de água e faz aumentar a concentração do poluente, para facilitar sua detecção. Para cada tipo de metal encontrado, emite luz com um espectro diferente. Esse espectro passa por um leitor e é analisado por um software, que indica qual poluente está presente na água. A vantagem do SPA-Foton, esclarece Petrus, é a de que ele usa um único protocolo para detectar vários tipos de metais, o que não acontece em outros equipamentos." (*Inovação Unicamp*, 25/08/2005)

A Renami tem buscado aproveitar oportunidades oferecidas pela Agência Espacial Brasileira (AEB), para estudar a auto-formação de filme nanoestruturado em ambiente de microgravidade. Na Operação Cumã I, amostras receberam tratamento térmico em vôo sub-orbital de foguete brasileiro, mas o compartimento que trazia os resultados explodiu e as análises não puderam ser feitas. Um experimento da Renami foi aprovado e seria realizado pelo astronauta brasileiro Marcos Pontes em sua ida à Estação Espacial Internacional (ISS, na sigla em inglês). Contudo, uma seqüência de infelizes contratemplos impediu a realização desse ensaio científico, desde a explosão do ônibus espacial americano que transportava o forno necessário ao experimento até a rejeição do mini-forno alternativo construído pelo pessoal da Ponto Quântico. (SANTA-CRUZ, 2007)

Materiais produzidos na ausência de gravidade podem exibir propriedades diferenciadas e, portanto, ter novas aplicações em produtos. Dessa forma, o material que

seria estudado na ISS poderia contribuir para o desenvolvimento de novas fibras ópticas e sensores nas áreas de meio ambiente e saúde. (*Missão Centenário, AEB*)

### **5.3) Rede Nanobiotec**

Coordenador da Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia (Nanobiotec), Nelson Eduardo Caballero Duran, do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), fez pós-doutorado da Universidade de São Paulo (USP) e desenvolve pesquisas em biotecnologia e nanociências. No Currículo Lattes de Duran, o prefixo nano aparece 109 vezes, sendo a referência mais antiga a esse termo de 2001.

Até 2005, a Rede Nanobiotec reuniu 92 pesquisadores de 19 instituições<sup>5</sup>, gerou 674 artigos e 25 patentes<sup>6</sup>, e envolveu nove empresas. (*MCT, junho/2006*) De 2001 a 2004, foram formados 30 mestres, 30 doutores e 21 pós-doutores. A Nanobiotec interagiu com universidades na Alemanha, Bélgica, Chile, Espanha, Escócia, França, Itália, Japão e Estados Unidos, e também manteve vínculos com grupos de outras redes nacionais de nanotecnologia, como a própria Renami. (*DURAN, outubro/2004*)

Além dos cerca de R\$ 2,3 milhões aplicados na Nanobiotec a partir do Edital CNPq Nano n<sup>o</sup> 01/2001 e de seus dois termos aditivos, projetos propostos por pesquisadores integrantes da rede foram contemplados por outros editais, como o Edital MCT/CNPq n<sup>o</sup> 12/2004 (de incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de produtos e processos nanotecnológicos em parceria com empresas). (*Ibid, outubro/2004*)

Como exemplos de contato da Nanobiotec com o setor produtivo, pode-se citar biossensores para determinação da qualidade de café (Embrapa/ Associação Brasileira das Indústrias do Café); e encapsulamento de anti-hipertensivo em ciclodextrinas (UFMG/ Biolab Farmacêutica). (*Ibid, outubro/2004*)

A Nanobiotec era dividida em três sub-redes: Liberação controlada de fármacos e vacinas, sob coordenação de Sílvia Guterres (UFRGS), na qual se inseriam, por exemplo, pesquisas sobre câncer, leishmaniose, tuberculose, malária, doença de Chagas, esquistossomose e doenças cardiovasculares; Nanobiomagnetismo, sob coordenação de Paulo Cesar de Moraes (UnB), na qual se inseriam, por exemplo, pesquisas com nanopartículas magnéticas para diagnóstico precoce e eliminação de células tumorais (magnetohipertermia); e Nanobiossensores, sob coordenação de Luiz Mattoso (Embrapa), na qual se inseriam, por exemplo, os trabalhos com a língua eletrônica, para análises de café e vinho. (*Ibid, outubro/2004*)

#### 5.4) Rede NanoSemiMat

A Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (NanoSemiMat) foi coordenada por Eronides Felisberto da Silva Junior, do Departamento de Física da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que fez pós-doutorado na Yale University, nos Estados Unidos, e no Hitachi Central Research Laboratory, no Japão.

No Currículo Lattes de Eronides, o prefixo nano aparece 369 vezes, sendo que a referência mais antiga a esse termo é de 1992. Embora a referência mais antiga seja do início da década de 1990, foi depois do ano 2001 que o prefixo nano começou a aparecer de forma mais freqüente no currículo do pesquisador. Segundo o próprio Eronides, esse padrão se repete no Currículo Lattes da maioria dos cientistas que, de alguma forma, trabalham com nanotecnologia. "Foi no início do século XXI que o Ministério da Ciência e Tecnologia e outros órgãos governamentais passaram a dar atenção ao setor e muitos pesquisadores, por modismo até, adicionaram o prefixo nano aos títulos de seus trabalhos", disse ele à autora desta dissertação, em conversa telefônica.

De acordo com Eronides, um pequeno número de pesquisadores participou e ainda participa de tudo o que acontece no Brasil relacionado à nanotecnologia. Embora, explicitamente, ele não se inclua nesse seleto grupo, o físico da UFPE afirma que tem acompanhado de perto as iniciativas brasileiras na área. Além de coordenador da Rede NanoSemiMat, participou da Reunião de Trabalho Tendências em Nanociências e Nanotecnologias e integrava o Grupo de Trabalho que elaborou o documento-base do Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, no âmbito do PPA 2004-2007 (Capítulo 3).

De outubro de 2001 a outubro de 2005, como coordenador da NanoSemiMat, Eronides precisou assinar cerca de 720 cheques e a prestação de contas da rede gerou 44 quilos de papel, colocados em uma mala e entregues pessoalmente pelo pesquisador no CNPq. (SILVA, 2006) Na avaliação de Eronides, o investimento nas redes brasileiras de nanotecnologia pode ser considerado "irrisório", mas, apesar dos poucos recursos, elas realizaram trabalhos de alta qualidade. Uma explicação seria o fato de que, antes da formação das redes, as instituições participantes, juntas, já contavam com mais de R\$ 200 milhões em equipamentos instalados e operacionais para pesquisas em nanociência e nanotecnologia. (SILVA, 2005, p. 2)

Inicialmente, a Rede NanoSemiMat contava com nove instituições de ensino e pesquisa, mas, depois, outras nove aderiram ao trabalho cooperativo<sup>7</sup>. Os grupos-base ficavam na UFPE, na Universidade de São Paulo (USP) e na Universidade Federal do Ceará (UFC). Ao todo, a NanoSemiMat reuniu cerca de 55 pesquisadores com doutorado ou pós-doutorado na área; 75 estudantes de mestrado ou doutorado; e 70 alunos de iniciação

científica. Toda essa equipe teve a oportunidade de interagir, trocando experiências e compartilhando resultados, nos quatro encontros anuais da rede. Além disso, a NanoSemiMat manteve diversas parcerias internacionais, com pesquisadores de Estados Unidos, França, China, Canadá, Chile, Argentina, Espanha, Japão, Alemanha e México. (Ibid, 2005)

Os temas principais de atuação da NanoSemiMat eram Materiais semicondutores nanoestruturados (III-V e II-VI); Propriedades ópticas e de transporte em nanodispositivos e semicondutores nanoestruturados; Dispositivos semicondutores à base de Si e SiC, materiais de gap largo, cerâmicas e polímeros; e Aplicações de nanodispositivos: sensores ópticos e físico-químicos.

"Pesquisas em desenvolvimento no Instituto de Física da USP-SP, por exemplo, concentram esforços na produção de materiais nanoestruturados e dispositivos optoeletrônicos à base de nitreto de gálio (GaN) e que poderão levar ao desenvolvimento da tecnologia nacional para a produção de nanodispositivos emissores de luz (LEDs e Lasers) na região do visível (verde e azul). Tais nanodispositivos têm aplicações importantes no armazenamento de dados (gravação e leitura de DVDs), painéis eletrônicos, iluminação de trânsito etc. Entre as diversas linhas de pesquisa em desenvolvimento nos departamentos de Física da UFPE e UFC concentra-se a pesquisa em materiais e nanoestruturas de dispositivos à base de silício e carbeto de silício, com importantes aplicações na optoeletrônica, fônica e física médica. Pesquisadores dessas instituições têm desenvolvido fotodetetores e nanodispositivos conversores de luz. Os fotodetetores permitem a detecção e quantificação de radiações de alta energia (partículas alfa, e radiação beta e gama) de grande importância na área médica e no tratamento de câncer e outras doenças. Nanodispositivos moleculares conversores de luz desenvolvidos por pesquisadores da rede têm-se mostrado altamente promissores na detecção e quantificação de doses de radiação ultravioleta oriundas da radiação solar, e podem ser utilizados na prevenção de câncer de pele. Outras atividades de pesquisa desenvolvidas na USP-São Paulo e São Carlos e por pesquisadores da UERJ e PUC-Rio direcionam-se ao entendimento das propriedades magnéticas (spin) em nanoestruturas semicondutoras, que podem vir a ser de grande utilidade num futuro próximo na área de gravação magnética, utilizando-se do controle de correntes eletrônicas e das propriedades associadas com a polarização de 'spin'. Tais avanços podem levar em breve a um aumento substancial na capacidade de gravação e armazenamento (discos rígidos) utilizando-se dessas novas propriedades magnéticas de nanoestruturas semicondutoras." (SILVA, 2002)

Cabe mencionar que, no Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003, cujo resultado final saiu em setembro de 2004, das 20 (pequenas) redes criadas ou consolidadas, duas foram propostas por integrantes da NanoSemiMat: Rede de NanoSensores Integrados e Microssistemas, por Francisco Javier Ramirez Fernandez (USP/SP); e Rede Multi-institucional em Materiais Avançados e Nanotecnologia: Desenvolvimento de Protótipos e Nanodispositivos, por Antonio Ferreira da Silva (UFBA). Ou seja: sub-redes dentro da NanoSemiMat oficializadas pelo CNPq. (SILVA, 2005)

De acordo com Eronides, a formação da NanoSemiMat aumentou significativamente a produtividade dos pesquisadores nela envolvidos. Até 2005, a rede

produziu 970 artigos e 15 patentes (MCT, junho/2006).

“No balanço positivo dos resultados, entre outros, podem ser citados protótipos de produtos como Nanodosímetros de Radiação UV (DQF-DF-Empresa Ponto Quântico Sensores e Dosímetros); Fotodetetores de Radiação Ionizante (UFPE); Nanoestruturas de Memórias Flash (UFC); e Diodos Emissores de Luz (LEDs) à Base de Nitretos e Silício Poroso (DF/UFPE, DF/UFPR, USP-SP). Todos esses 'nanoprodutos', se vierem a serem industrializados, podem comprovar o papel fundamental da rede NanoSemiMat no processo de inovação.” (SILVA, 2005, p. 3)

Chama a atenção que os nanodosímetros de UV, com participação da empresa Ponto Quântico, sejam citados como resultados tanto da NanoSemiMat como da Renami. Destaca-se também que, no Relatório Técnico Final da NanoSemiMat, na lista de publicações produzidas por essa rede, há artigos em que Petrus Santa-Cruz, pesquisador responsável pela Ponto Quântico e coordenador de inovação da Renami, aparece como co-autor. Isso sugere que as redes de nanotecnologia criadas em 2001 não só tinham pontos de contato, mas também certas zonas de sobreposição de projetos e temáticas. Essas sobreposições podem ser maiores, considerando-se também os Institutos do Milênio (iniciativas que funcionam como redes e são analisadas no Capítulo 6).

Destaca-se, ainda, que pesquisadores integrantes das redes e seus respectivos projetos concorriam e eram contemplados em diferentes editais do MCT/CNPq, como, por exemplo, a Nanobiotec com projetos aceitos no Edital MCT/CNPq 12/2004 e a NanoSemiMat com projetos aceitos no Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003.

### **5.5) BrasilNano**

Das quatro redes analisadas até aqui, somente a Renami continuou formalmente no âmbito do Edital MCT/CNPq nº 29/2005 (BrasilNano). Além do Estágio III da Renami, as outras nove iniciativas contempladas nesse edital foram: Rede de Nanofotônica; Rede Nacional de Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados; Nanotubos de Carbono: Ciência e Aplicações; Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas; Microscopias de Varredura de Sondas - Software e Hardware Abertos; Simulação e Modelagem de Nanoestruturas; Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados; Nanoglicobiotecnologia; e Rede de Nanobiomagnetismo.

Relatório da Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT informa que as dez redes apresentaram uma demanda total de R\$ 27,2 milhões para quatro anos. Informa também que as principais atividades das redes, até agosto de 2006, foram eventos de integração, aquisição de equipamentos e implementação de infra-estrutura. Estavam, portanto, ainda em fase inicial.

### 5.5.1) Rede de Nanofotônica

A Rede de Nanofotônica (Nanofoton)<sup>8</sup> tem como objetivos o desenvolvimento, a caracterização e as aplicações de alguns tipos de materiais ópticos nanoestruturados. Os resultados da rede podem beneficiar setores como sensores, saúde, cosméticos, indústria farmacêutica e indústria têxtil. (MCT, junho/2006) Entre suas metas estão preparação e caracterização morfológica de nanopartículas de óxidos de estanho, titânio, zircônio e silício; caracterização das propriedades ópticas de nanopartículas metálicas; fabricação e caracterização de fibras ópticas microestruturadas e nanofios ópticos; e preparação de nanobiomateriais para aplicações em medicina diagnóstica e sensoriamento, entre outras. As metas incluem, ainda, palestras sobre nanofotônica dirigidas ao setor industrial, com ênfase nos aspectos comerciais de dispositivos nanofotônicos, e a estudantes de ensino médio. (MCT, agosto/2006) A rede é coordenada por Anderson Gomes (UFPE), que esteve à frente daquele Comitê de Articulação em nanotecnologia criado no final do ano 2000 (Capítulo 3).

### 5.5.2) Rede Nacional de Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados

A Rede Nacional de Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados (Nanobioestruturas)<sup>9</sup> reúne cerca de 170 membros, sendo 32 pesquisadores principais, de seis estados das regiões Norte e Nordeste e do Distrito Federal. (FREIRE, 2006) Existe a expectativa de que essas colaborações originem um Grupo de Laboratórios Associados do Norte-Nordeste em Nanotecnologia e Sistemas Nanoestruturados. (MCT, agosto/2006) A coordenação da rede está a cargo de Eudenilson Lins de Albuquerque (UFRN), que integrava a Rede NanoSemiMat (Edital CNPq Nano n<sup>o</sup> 01/2001). (GOMES; MELO, 2002)

Na área de nanobiotecnologia, os principais temas de pesquisa são: nanomarcadores para aplicações biológicas; nanotubos de carbono; nanossistemas para entrega de drogas; e cristais de aminoácidos, proteínas e bases de DNA/RNA. Já na área de sistemas nanoestruturados, os principais temas de pesquisa são: nanoeletrônica baseada no DNA e termodinâmica do DNA; design de nanoestruturas moleculares; sistemas magnéticos nanoestruturados; e filmes e sistemas nanoestruturados. As possíveis aplicações dos resultados incluem sensores, diagnóstico e terapêutica (câncer de mama, por exemplo). (MCT, agosto/2006)

Uma das metas da Nanobioestruturas é fortalecer grupos de pesquisa do Maranhão e do Piauí, considerados os menores da rede. Contudo, na distribuição dos recursos da Nanobioestruturas, as instituições desses estados não haviam recebido verbas para equipamentos, por exemplo. (Ibid, agosto/2006) Mesmo assim, como integrantes de uma rede cooperativa, a idéia é que essas instituições possam se beneficiar da infra-estrutura de outros centros participantes e do intercâmbio de pesquisadores.

### 5.5.3) Nanotubos de Carbono: Ciência e Aplicações

A Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos de Carbono: Ciência e Aplicações conta com 41 pesquisadores (físicos e químicos, alguns com projetos na área biomédica). Os objetivos da rede incluem produção, pesquisa básica e caracterização, e aplicações de nanotubos de carbono – supercapacitores, dispositivos fotovoltaico e de memória, eletrodos para células a combustível, biocompósitos nanotubos de carbono/colágeno, biossensores e sensores de gás. (<[www.fisica.ufc.br/redenano](http://www.fisica.ufc.br/redenano)>) Os participantes da rede são de 14 instituições<sup>10</sup> de oito estados (Pará, Ceará, Maranhão, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais).

“A composição desta rede é caracterizada pela ausência de concentração de recursos em regiões geográficas específicas, e possibilitará um desenvolvimento equilibrado de grupos de pesquisa distribuídos em uma grande faixa do território nacional. Além disso, abre a possibilidade de intercâmbio e colaborações entre grupos mais consolidados e grupos em consolidação ou emergentes, contribuindo para um desenvolvimento equânime em diferentes regiões do país.” (MCT, junho/2006, p. 34)

A rede é coordenada por Marcos Pimenta (UFMG), nome também associado à coordenação do Instituto do Milênio de Nanociências (Capítulo 6). (GOMES; MELO, 2002) Segundo Pimenta, embora muitas empresas no exterior já utilizem nanotubos de carbono em várias aplicações tecnológicas, apenas recentemente o setor industrial brasileiro despertou para essas possibilidades. Nesse sentido, a rede propõe “o desenvolvimento de uma série de diferentes dispositivos, muitos deles em estado evoluído de concretização, com possibilidade real de transferência para o setor produtivo” (MCT, junho/2006, p. 33). Cabe mencionar que uma empresa – a Delp Engenharia Mecânica – também integra a rede. (<[www.fisica.ufc.br/redenano](http://www.fisica.ufc.br/redenano)>)

Pesquisadores da rede têm trabalhado, por exemplo, na síntese de nanotubos a partir de gás natural, um projeto que interessa a Petrobras. Eles também têm estudado nanotubos de carbono para reforço de resinas usadas em superfícies de satélites artificiais. Antes da formação da rede, muitos membros já tinham publicações sobre nanotubos de carbono e alguns já tinham até patentes depositadas. (MCT, junho/2006, p. 33)

Em 1997, Pimenta esteve no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos Estados Unidos, onde trabalhou com nanotubos de carbono. De volta ao Brasil, ainda nos anos 90, incentivou o colega da UFMG Luiz Orlando Ladeira a desenvolvê-los. Ladeira, que já trabalhava com carbono, aceitou o desafio. Parado há cerca de uma década em seu laboratório, um equipamento obsoleto de crescimento de cristais foi transformado pelo pesquisador para fabricar os primeiros nanotubos. Depois, a equipe encontrou outra maneira inovadora de produzi-los e, assim, alçou a UFMG a um lugar de destaque. Em setembro de 2005, os nanotubos de carbono produzidos nos laboratórios da universidade começaram a ser comercializados. As primeiras vendas foram para o Instituto de Química

de São Carlos da USP e para uma empresa paulista. (OLIVEIRA, 2005)

No I Encontro da Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos de Carbono, em novembro de 2006, no Rio de Janeiro, foi anunciado que a Eight Internacional Conference on the Science and Application of Nanotubes será realizada no Brasil, em Ouro Preto, em julho de 2007. Trata-se da principal conferência mundial da área. (*LQES NEWS*, 01/12/2006)

#### **5.5.4) Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas**

A Rede Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas visa capacitar o país no desenvolvimento científico e tecnológico de sistemas supramoleculares e nanoestruturados aplicados a produtos cosméticos e dermatológicos, em articulação com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). A rede também tem como objetivos estudar o comportamento desses produtos de base nanotecnológica nos alvos biológicos; formar recursos humanos altamente qualificados para os setores acadêmico e industrial; obter patentes e transferir as tecnologias por meio de parcerias com empresas. (*MCT*, agosto/2006) Ela "congrega renomados pesquisadores de várias universidades brasileiras<sup>11</sup> e têm como parceiros científicos vários pesquisadores de universidades estrangeiras, assim como conta com forte interesse de empresas brasileiras do setor de cosméticos" (*Currículo Lattes* Sílvia Guterres/CNPq).

A coordenação da Rede Nanocosméticos está a cargo de Sílvia Guterres<sup>12</sup> (UFGRS), que estava à frente do sub-grupo Liberação controlada de fármacos e vacinas da Rede Nanobiotec (Edital CNPq Nano n<sup>o</sup> 01/2001). Já o coordenador da Rede Nanobiotec, Nelson Duran (Unicamp), faz parte do Comitê Científico da Rede Nanocosméticos. (*MCT*, agosto/2006) Isso sugere que a Rede Nanocosméticos representa uma extensão da Rede Nanobiotec.

#### **5.5.5) Microscopias de Varredura de Sondas - Software e Hardware abertos**

Com o objetivo central difundir no país a técnica de microscopia de varredura de sondas (SPM), essa rede tem duas vertentes: usuários e desenvolvedores de hardware/software (abertos). Para atingir o objetivo, o plano consiste em adquirir um sistema de microscopia de força atômica e de tunelamento, para instalação na UFMG e uso por todos os membros<sup>13</sup> da rede, além de articular os esforços de diferentes grupos que já trabalhavam, mas até então de forma não-coordenada, com o propósito de construir esses microscópios. (*MCT*, agosto/2006)

Assim, a rede pretende não só qualificar usuários para operação de microscópios (instalados na UFMG e no LNLS), mas também criar uma cultura de instrumentação, favorecendo o surgimento de iniciativas de construção de equipamentos no país. O

propósito não seria fazer equipamentos comerciais, mas sim de uso focado em problemas científicos específicos e de interesse dos integrantes da rede. “Espera-se que, com o tempo, um trânsito livre entre os pesquisadores e estudantes propicie uma malha de equipamentos distribuída pelo país e de fácil acesso.” (Ibid, agosto/2006, p. 28)

A rede conta com o auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig). Ela é coordenada por Gilberto Medeiros-Ribeiro (LNLS), nome também associado ao Instituto do Milênio de Nanociências (Capítulo 6). (GOMES; MELO, 2002)

#### **5.5.6) Simulação e Modelagem de Nanoestruturas**

A Rede Simulação e Modelagem de Nanoestruturas (Theo-Nano)<sup>14</sup>, que reuniu 18 experientes pesquisadores teóricos, visa “consolidar vários modelos e métodos no tratamento de sistemas nanoestruturados, além de fortalecer a área de simulação de nanomateriais no Brasil” (ZACARIAS, 2006) Ela pretende interagir com todas as demais redes de nanotecnologia do país. “A Rede de Teoria Theo-Nano serviria como uma referência para os grupos experimentais buscarem colaborações, as quais iriam auxiliar tanto na interpretação de seus resultados quanto na elaboração de novas experiências.” (Ibid, 2006)

A Theo-Nano pode oferecer diversas contribuições, como no estudo de moléculas em meios, com simulações computacionais que levariam em conta tanto os efeitos estatísticos como os quânticos, e no estudo do transporte de carga em nanodispositivos. A Theo-Nano também está engajada na investigação de novos materiais, como nanofios metálicos, nanotubos de carbono, *quantum dots* etc. (Ibid, 2006) A rede é coordenada por Adalberto Fazzio (USP), que integrava a Rede Nanomat (Edital CNPq Nano nº 01/2001).

#### **5.5.7) Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados**

A proposta dessa rede é realizar pesquisa básica, experimental e teórica para o desenvolvimento de diferentes revestimentos nanoestruturados e novos processos de tratamento superficial, com aplicações potenciais na indústria de máquinas e equipamentos, na instrumentação biomédica, na indústria automotiva e aeroespacial. (MCT, agosto/2006) Suas principais linhas de atuação são: tratamentos duplex à base de carbono nanoestruturado; revestimentos com hidrofobicidade controlada; e diamantes ultrananocristalinos. (PRIOLI, 2006)

Instalado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o Laboratório de Implantação Iônica e Tratamento de Superfícies (Plasma-LIITS) desempenha papel importante na rede, que conta com 25 pesquisadores principais<sup>15</sup> e mantém contato com empresas, como Embraco e CloroVale Diamantes. Empresa brasileira líder no mercado de

compressores herméticos, a Embraco realiza projeto sobre lubrificantes sólidos, para eliminar o óleo dos compressores, e tem um representante no Comitê Científico da rede, o engenheiro Roberto Binder. Já o coordenador de inovação da rede, o físico Vladimir Trava-Airoldi, é pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e sócio-cotista da Clorovale. Trabalho conjunto entre Inpe e Clorovale já rendeu a fabricação de pontas odontológicas com nanodiamante. (Ibid, 2006)

Destaca-se que as origens do trabalho da rede são antigas. Sua semente foi plantada no final da década de 80, quando grupos de pesquisa que hoje a compõem começaram a estabelecer colaborações científicas. (Ibid, 2006) Destaca-se, também, que a Rede em Revestimentos Nanoestruturados guarda relação com a Rede Nanomat (Edital CNPq Nano nº 01/2001). O coordenador da Rede em Revestimentos Nanoestruturados, Fernando Lázaro Freire Junior (PUC-RJ), era membro da Rede Nanomat. (GOMES; MELO, 2002) Já o ex-coordenador da Rede Nanomat, Israel Baumvol (UFRGS), integra hoje o Comitê Científico da Rede em Revestimentos Nanoestruturados. (MCT, agosto/2006)

### 5.5.8) Nanoglicobiologia

A partir de polissacarídeos naturais, extraídos de algas, sementes, exoesqueletos e outras fontes, preparar nanopartículas, filmes finos ou nanocompósitos com aplicações diversas: esta é a proposta da Rede Nanoglicobiologia (Nanoglicobiotec), composta por 38 pesquisadores, sob coordenação de Maria Rita Sierakowski (UFPR).

"Nanofármacos têm sido desenvolvidos com base em polímeros biodegradáveis solúveis em água, categoria na qual os polissacarídeos estão incluídos. Eles apresentam ainda a vantagem adicional de serem biocompatíveis, e podem atingir sítios localizados por terem receptores específicos em certas células e tecidos. Assim, moléculas oriundas de nossas florestas, mares e microorganismos podem constituir fontes alternativas e promissoras de nanoespécies, as quais podem gerar nanotecnologia com potencialidades diversificadas. No Brasil, apesar de nossa biodiversidade e de todas as pesquisas com polissacarídeos e glicoconjugados, especialmente desenvolvidos na UFPR, UFC e entre ambas, pouco tem sido o retorno do conhecimento gerado para o setor industrial e para a sociedade." (*Currículo Lattes* Maria Rita Sierakowski/CNPq)

O objetivo da Rede Nanoglicobiotec é, de modo sustentável, aproveitar a biodiversidade brasileira para o desenvolvimento de produtos e processos de base nanotecnológica, como sistemas de liberação de antibióticos e drogas contra câncer e malária, vacina oral contra rotavírus e biossensores. "A utilização de nanomateriais à base de polissacarídeos é uma tendência mundial irreversível e o Brasil não poderá perder essa oportunidade de se afirmar num mercado mundial projetado para milhões de dólares, num futuro não muito distante." (MCT, junho/2006, p. 36)

Assim como as demais redes, a Nanoglicobiotec prevê a formação de recursos

humanos, a consolidação de facilidades para pesquisa e a interação com o setor industrial, além de publicações, patentes e participações em eventos.

### 5.5.9) Rede de Nanobiomagnetismo

Paulo Cesar de Moraes (UnB) coordenava o sub-grupo Nanobiomagnetismo da Rede Nanobiotec (Edital CNPq Nano nº 01/2001). Então, no Edital MCT/CNPq nº 29/2005, esse sub-grupo ganhou *status* de rede, e Moraes continuou sendo o coordenador.

"O foco da Rede de Nanobiomagnetismo é a pesquisa, o desenvolvimento e a transferência de tecnologia de veiculadores de drogas à base de nanopartículas magnéticas. Os sistemas veiculadores são formulados como fluidos magnéticos, magnetolipossomas e nanocompósitos magnéticos preparados a partir de ferritas cúbicas. Fotossensibilizadores para câncer, anticonvulsivantes para epilepsia e peptídeos antifúngicos para Pbmicosose são as drogas a serem acopladas aos sistemas veiculadores. Os complexos (droga/nanoestrutura magnética) formados oferecem duas características inovadoras. Uma é a possibilidade de vetorizar o complexo para um sítio específico usando gradiente de campo magnético externo e/ou anticorpos monoclonais. Outra é a possibilidade de aquecer o sítio marcado com o complexo por meio da aplicação de campo magnético externo alternado, processo denominado magnetohipertermia. A magnetohipertermia aumentará a eficácia de liberação da droga no sítio alvo. Estas duas características, acrescidas à variedade de drogas que serão utilizadas, oferecem o cenário propício para o desenvolvimento de um modelo de novas formulações e estratégias de *delivery*." (<[www.unb.br/ib/cnano/projetos.htm](http://www.unb.br/ib/cnano/projetos.htm)>)

A equipe multidisciplinar é um aspecto marcante da Rede de Nanobiomagnetismo<sup>16</sup>, que reúne cerca de 40 pesquisadores entre físicos, engenheiros, químicos, biólogos, farmacêuticos, veterinários e médicos. (AZEVEDO, 2006) A missão da rede vai desde a pesquisa e o desenvolvimento dos veiculadores para o acoplamento das drogas até os testes pré-clínicos e clínicos dos complexos preparados. Por isso, a equipe de trabalho inclui desde físicos teóricos até médicos de um hospital da rede pública do Distrito Federal (Hospital Regional da Asa Norte), onde foi inaugurado um serviço de tratamento de câncer de pele sob responsabilidade de membros da rede. Esta conta, ainda, com duas empresas privadas, que devem absorver as tecnologias desenvolvidas. (MORAIS, 2007)

De janeiro a outubro de 2006, a Rede de Nanobiomagnetismo contribuiu para a formação de 120 estudantes, produziu 28 artigos científicos e gerou duas patentes. (AZEVEDO, 2006) Ela é um dos projetos nucleados no Centro de Nanociência e Nanobiotecnologia (CNANO) da UnB. Outros exemplos de projetos do CNANO são Rede Cooperativa em Materiais Nanoestruturados Aplicados à Tuberculose e Pbmicosose; Magnetohipertermia e Terapia Fotodinâmica para Tratamento de Câncer Bucal; e Compósitos Magnéticos para Despoluição Ambiental.

## 5.6) Outras Redes

Além das Redes criadas no Edital CNPq Nano nº 01/2001 e, posteriormente, no Edital MCT/CNPq nº 29/2005, outras têm sido estabelecidas no país. Elas são frutos de projetos menores aprovados em diferentes editais ou da livre iniciativa de certos pesquisadores brasileiros, que apostam no compartilhamento de informações, recursos humanos e equipamentos para fortalecer o trabalho científico e tecnológico.

Apesar do título, a Rede de Nanotecnologia da USP não é composta apenas por professores e pesquisadores dessa universidade. Também participam o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), bem como as empresas Natura, Rhodia e Siemens, entre outras instituições. Estimular a comunicação entre os centros de pesquisa e o segmento empresarial é uma meta da rede, que reúne cerca de cem profissionais. (<[www.usp.br/prp/nanotecnologia](http://www.usp.br/prp/nanotecnologia)>) A idéia inicial é promover fóruns de discussão sobre como aproveitar as pesquisas não só para gerar conhecimentos, mas também para aplicá-los no desenvolvimento de tecnologias e produtos. Existe a proposta de se discutir as contribuições da nanotecnologia para áreas como aplicações farmacêuticas e cosméticas, biofísica molecular, biotecnologia, cooperação universidade-empresa, física, meio ambiente, métodos computacionais, materiais e química.

Pode-se citar, ainda, a Rede Interdisciplinar de Nanotecnologia (RIN), cuja origem está no Grupo Multidisciplinar de Cerâmica, e a Rede Mineira de Nanobiotecnologia (Nanobiomg), credenciada Fapemig, entre outras iniciativas.

## NOTAS

<sup>1</sup> A Rede BrasilNano foi criada como um elemento do Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). Contudo, o texto do Edital MCT/CNPq nº 29/2005, que data de abril de 2005, diz que a Rede BrasilNano integra o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN), embora este só tenha sido oficialmente lançado em agosto daquele ano. É verdade que o PNN englobou tanto o Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia como as Ações Transversais dos Fundos Setoriais. Entretanto, a aparente falta de rigor do governo federal ao se referir a esses programas sugere que a iniciativa nacional em nanotecnologia não tinha - e talvez ainda não tenha - contornos bem definidos e claros. Indica também que o PNN, apesar de oficialmente lançado só em agosto de 2005, já estava em gestação há algum tempo.

<sup>2</sup> A Nanomat reúne grupos das seguintes instituições: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS); Universidade Federal do Paraná (UFPR); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe); Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Universidade Federal Fluminense (UFF); Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec-MG); Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN); Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); Universidade Federal de Uberlândia (UFU); Universidade Federal de Viçosa (UFV); Universidade Federal da Bahia (UFBA); Universidade Tiradentes (Unit-SE); e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

<sup>3</sup> O *site* da Renami tem uma área restrita aos membros da rede, onde são oferecidos serviços como formulários para solicitação de recursos, escaninho virtual para troca de arquivos, sala de debates e fórum de discussões. Outro aspecto interessante do *site* é que ele oferece *links* para câmeras ao vivo em laboratórios da rede.

<sup>4</sup> Segundo o *site* da Renami, as principais instituições ligadas à rede são: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); USP (Universidade de São Paulo); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Universidade Federal do Paraná (UFPR); Universidade Federal da Paraíba (UFPB); Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG); Universidade Estadual Paulista (Unesp); Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CNEN); Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF); University of Minnesota; University of Bourgogne; Uersity of Utrecht; France Télécom; Ponto Quântico Sensores e Dosímetros Ltda; e GKSS (Germany National Research Facility - Chemical Department).

<sup>5</sup> Segundo apresentação da Rede Nanobiotec durante o Workshop Nanotecnologia e Nanociência: Brasil - União Européia, em São Paulo, participavam da rede as seguintes instituições: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal de Goiás (UFG); Universidade Federal de Ponta Grossa (UFGP); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Universidade Estadual Paulista (Unesp); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade de Brasília (UnB); Universidade Estadual de Maringá (UEM); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Universidade Metodista (Unimep); e Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).

<sup>6</sup> Esses números de produção da Rede Nanobiotec podem estar incorretos. Como as fontes consultadas apresentavam valores diferentes, optou-se por usar os divulgados no relatório mais recente da Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias do MCT, tanto para a produção da Rede Nanobiotec como das outras redes.

<sup>7</sup> As 18 instituições participantes da Rede NanoSemiMat eram: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal do Ceará (UFC); Universidade de São Paulo (USP), *campi* São Paulo e São Carlos; Escola Politécnica da USP; Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Universidade Federal de Alagoas (Ufal); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade Federal da Bahia (UFBA); Universidade Federal do Paraná (UFPR); Universidade de Brasília (UnB); Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN); Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão (Cefet-MA); Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); e Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* Bauru.

<sup>8</sup> As instituições que integram a Rede Nanofoton são Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), Faculdades de Tecnologia de São Paulo (Fatec), Universidade Estadual Paulista (Unesp) e Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf).

<sup>9</sup> As instituições que integram a Rede Nanobioestruturas são Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão (Cefet-MA), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Estadual do Ceará (Uece), Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (Cefet-CE), Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal de Alagoas (Ufal) e Universidade de Brasília (UnB).

<sup>10</sup> As instituições que integram a Rede de Nanotubos de Carbono são Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Universidade Federal de Lavras (Ufla), Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Universidade

Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Centro Universitário Franciscano (Unifra), Universidade de São Paulo (USP), campi São Paulo e Ribeirão Preto, e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

<sup>11</sup> As instituições que integram a Rede Nanocosméticos são Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Centro Universitário Franciscano (Unifra), Universidade de São Paulo (USP), campi São Paulo e Ribeirão Preto, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Universidade de Caxias do Sul (UCS) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

<sup>12</sup> Sílvia Guterres também é coordenadora da Rede Cooperativa Brasil-França em Processos de Produção de Nanopartículas para Aplicação em Saúde, proposta aprovada no âmbito do Edital MCT/CNPq nº 31/2005.

<sup>13</sup> A Rede SPM articulou pesquisadores de dez instituições: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ).

<sup>14</sup> A Rede Theo-Nano inclui pesquisadores das seguintes universidades: Universidade de São Paulo (USP), campi São Paulo e São Carlos, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal Fluminense (UFF) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>15</sup> As instituições participantes da Rede em Revestimentos Nanoestruturados são Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade de São Paulo (USP), campi São Paulo e São Carlos, Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), Universidade de Caxias do Sul (UCS), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

<sup>16</sup> As instituições participantes da Rede de Nanobiomagnetismo são Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de Goiás (UFG), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), além do Hospital Regional da Asa Norte (HRAN), da Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (Finatec) e das empresas DNAtect e FK-Biotec.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Ricardo Bentes de. *Rede Brasileira de Nanobiomagnetismo* (Apresentação). Bento Gonçalves: outubro/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0011/11620.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0011/11620.pdf)>. Acesso em 27/12/2006.
- BAUMVOL, Israel. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 30/10/2006.
- CENTRO de Nanociência e Nanotecnologia (CNANO), UnB, Projetos: <[www.unb.br/ib/cnano/projetos.htm](http://www.unb.br/ib/cnano/projetos.htm)>. Acesso em 28/12/2006.
- CURRÍCULO Lattes Eronides Silva: <<http://lattes.cnpq.br/6929312070167544>>. Acesso em 24/07/2006.
- CURRÍCULO Lattes Israel Baumvol: <<http://lattes.cnpq.br/7503942249157750>>. Acesso em 23/07/2006.

- CURRÍCULO Lattes Maria Rita Sierakowski: <<http://lattes.cnpq.br/8401429948060012>>. Acesso em 28/12/2006.
- CURRÍCULO Lattes Nelson Duran: <<http://lattes.cnpq.br/6191239140886028>>. Acesso em 24/07/2006.
- CURRÍCULO Lattes Oscar Malta: <<http://lattes.cnpq.br/6191239140886028>>. Acesso em 23/07/2006.
- CURRÍCULO Lattes Sílvia Guterres: <<http://lattes.cnpq.br/4662273973783290>>. Acesso em 27/12/2006.
- DADOS sobre as Redes do Programa Rede BrasilNano. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT, 44 p., agosto/ 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0009/9518.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0009/9518.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
- DURAN, Nelson. *Rede Nanobiotec* (Apresentação na reunião de avaliação das redes). Outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7565.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7565.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- EDITAL CNPq Nano nº 01/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CNPq Nano nº 01/2001. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado\\_chamada\\_01\\_2001\\_nanociencia.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado_chamada_01_2001_nanociencia.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 29/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0292005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0292005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 29/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0292005\\_fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0292005_fase2.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- FREIRE, Valder. *Rede Nacional de NanoBiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados - Nanobioestruturas*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/vf.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/vf.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- GOMES, Anderson S. L. et al. *Programa Nacional de P&D em Nanociências e Nanotecnologias/ Plano de Implementação 2001-2005/ Documento Preliminar para Discussão*. Brasília: CNPq, 44 p., abril/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc](http://www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc)>. Acesso em 11/10/2006.
- GOMES, Anderson S. L.; MELO, Celso P. de. *A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia*. Brasília: CNPq, novembro/2002. IN: *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 105-135, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgее.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgее.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 14/08/2006.
- MALTA, Oscar. Nanociência e nanotecnologia: a rede de nanotecnologia molecular e de interfaces (RENAMI). *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/2002. Disponível em <<http://comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano12.htm>>. Acesso em 17/03/2005.
- MORAIS, Paulo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.

- NANOSONDA para ambiente de microgravidade: nanotecnologia no espaço. Missão Centenário/AEB. Disponível em <[www.aeb.gov.br/missaocentenario/Experimentos5.php](http://www.aeb.gov.br/missaocentenario/Experimentos5.php)>. Acesso em 26/12/2006.
- OLIVEIRA, Marcos de. Nanotubos no mercado – Diminutas peças de carbono já estão à venda para universidades e empresas. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 118, dezembro/2005. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2770&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2770&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 09/06/2007.
- PESQUISADOR da UFPE criou empresa para aproveitar potencial do trabalho acadêmico; até hoje, nunca captou recursos privados. *Inovação Unicamp*, n. 38, 25/08/2005. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-pontoquantico.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-pontoquantico.shtml)>. Acesso em 23/12/2006.
- PRIOLI, Rodrigo. *Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/rp.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/rp.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- REDE de Nanotecnologia da USP: <[www.usp.br/prp/nanotecnologia](http://www.usp.br/prp/nanotecnologia)>. Acesso em 23/12/2006.
- REDE de Pesquisa Materiais Nano-estruturados: <[www.if.ufrgs.br/~israel](http://www.if.ufrgs.br/~israel)>. Acesso em 20/02/2006.
- REDE Nacional de Pesquisas em Nanotubos de Carbono realiza o seu Workshop 2006. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 01/12/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_872.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_872.html)>. Acesso em 01/12/2006.
- REDE Nacional de Pesquisa Nanotubos: <[www.fisica.ufc.br/redenano](http://www.fisica.ufc.br/redenano)>. Acesso em 20/02/2006.
- RELATÓRIO Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT, 68 p., junho/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- RENAMI – Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces: <[www.renami.com.br](http://www.renami.com.br)>. Acesso em 20/02/2006.
- SÁ, Gilberto Fernandes de et al. *Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia (Documento-base/ PPA-2004-2007)*. 28 p., 2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2361.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf)>. Acesso em 18/07/2006.
- SANTA-CRUZ, Petrus. *Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces – Renami/ Estágio III*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/psc2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/psc2.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- SANTA-CRUZ, Petrus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.
- SILVA, Eronides. Rede cooperativa para pesquisa em nanodispositivos semicondutores e materiais nanoestruturados (NanoSemiMat). *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/2002. Disponível em <<http://comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano13.htm>>. Acesso em 17/03/2005.

- SILVA, Eronides. *Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (NanoSemiMat) – Relatório Técnico Final*. 132 p., novembro/2005. Documento enviado por Silva à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/11/2006.
- SILVA, Eronides. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 28/11/2006.
- UGARTE, Daniel. *Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados* (Apresentação na reunião de avaliação das redes). Outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7556.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7556.pdf)>. Acesso em 05/06/2007.
- ZACARIAS, Edison. *Simulação e Modelagem de Nanoestruturas – Theo-Nano*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/ez.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/ez.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.

## CAPÍTULO 6: OS INSTITUTOS DO MILÊNIO

As redes de nanotecnologia, tema do capítulo anterior, estudam temáticas que não são excludentes, isto é, o tema de uma pode ser similar ou complementar ao de outra. Talvez o exemplo mais claro seja o da Theo-Nano (item 5.5.6), que poderia interagir com qualquer outra rede. Dessa forma, um grupo direta ou indiretamente<sup>1</sup> associado a uma rede pode interagir com um grupo de outra rede, criando pontos de contato ou certas zonas de sobreposição entre elas, como foi exemplificado pelo nanodosímetro de UV, descrito como produto tanto da Renami como da NanoSemiMat. Essas inter-relações podem ser uma estratégia para otimizar os recursos disponíveis para pesquisa. Mas o emaranhado de projetos de pesquisa pode ser maior, quando se leva em conta que, além das redes de nanotecnologia propriamente ditas, existem os Institutos do Milênio, que também funcionam como redes.

Os Institutos do Milênio – programa de financiamento de projetos de pesquisa do MCT/CNPq – têm temas abrangentes, com caráter multi e interdisciplinar. Eles tiveram início em 2001, no âmbito do III Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico Tecnológico (PADCT III). Na primeira fase<sup>2</sup>, foram apoiados 17 projetos, com duração de três anos e recursos totais de R\$ 105 milhões, contando com empréstimos do Banco Mundial. A idéia de se criar Institutos do Milênio surgiu fora do Brasil.

"O MCT, na revisão do PADCT III, ampliará o leque de opções para esta categoria de projeto, incluindo o Programa Institutos do Milênio (Millennium Science Initiative - MSI), no âmbito do Componente de Pesquisa em Ciência e Tecnologia - CCT. O Millennium Science Initiative é um novo programa do Banco Mundial que oferece aos países a oportunidade de acesso a recursos para a organização de Institutos do Milênio de acordo com suas necessidades de desenvolvimento científico e tecnológico. A implantação do Programa Institutos do Milênio no Brasil dar-se-á na forma de apoio a redes de pesquisa, segundo prioridades estabelecidas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia através de uma Política de C&T que contemple as demandas da cadeia produtiva e as necessidades de fortalecimento das ciências básicas."  
(MCT, março/2001)

Segundo o MCT, cada Instituto do Milênio deve ter "um pesquisador líder de excepcional estatura científica que será o responsável pelo desenvolvimento científico do projeto e de sua administração" (Ibid, março/2001). Ou seja: espera-se dos coordenadores das redes não só a excelência reconhecida como cientistas, mas também a capacidade de gerenciamento, embora os pesquisadores brasileiros não recebam nas universidades um treinamento formal na área de gestão.

Os Institutos do Milênio têm objetivos, por vezes, imprecisos, como, por exemplo, "promover projetos de relevância para a Ciência e para a Sociedade" (Ibid, março/2001). Diz-se que eles, assim como várias outras ações do MCT, têm foco na inovação e visam auxiliar na solução de problemas sociais do país e aumentar a competitividade da indústria brasileira no cenário internacional. Cabe lembrar que, embora a solução de problemas

sociais e o desenvolvimento econômico sejam, freqüentemente, colocados lado a lado nos objetivos de projetos de pesquisa, cientistas sociais alertam que uma coisa não é consequência da outra. (MARTINS, 2007) (Capítulo 10)

Já a segunda fase do programa Institutos do Milênio foi realizada no contexto do Edital MCT/CNPq nº 01/2005, cujos recursos eram totalmente do governo brasileiro. Foram selecionados 34 projetos, com duração de três anos (2005-2008) e recursos totais de R\$ 90 milhões.

Das propostas aprovadas na primeira fase do programa Institutos do Milênio, pelo menos quatro estavam relacionadas à nanociência e à nanotecnologia: Instituto do Milênio de Materiais Complexos, coordenado por Fernando Galembeck (Unicamp); Instituto de Nanociências, coordenado por Alaor Chaves (UFMG); Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos, coordenado por Roberto Mendonça Faria (USP/São Carlos); e Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica, coordenado por Jacobus Willibrordus Swart (Unicamp).

Essas quatro propostas<sup>3</sup> foram mantidas na segunda fase do programa Institutos do Milênio. O Instituto do Milênio de Materiais Complexos e o Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos continuaram com os mesmos nomes, mas passaram a ser coordenados, respectivamente, por Henrique Eisi Toma (USP) e Yvonne Primerano Mascarenhas (USP/São Carlos). O Instituto de Nanociências se transformou no Instituto de Nanotecnologia, agora coordenado por Belita Koiller (UFRJ). Quanto à Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica, ela passou a se chamar Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes, porém Jacobus Swart (Unicamp) permaneceu como pesquisador líder.

### **6.1) Instituto do Milênio de Materiais Complexos**

Os pesquisadores que propuseram a criação do Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IMMC) eram da área de química – disciplina, segundo eles, habituada a complexidade:

“A Complexidade tem perturbado grandemente algumas disciplinas científicas, em particular a Física e todas as ciências da Engenharia. [...] Contrariamente, a Complexidade não surpreende aos químicos, porque estes sempre conviveram com ela. [...] Podemos dizer que o mundo científico chegou nos últimos vinte anos, pelo caminho da complexidade, exatamente ao território que os químicos sempre habitaram. [...] A idéia de molécula, que foi bem desenvolvida pelos químicos durante o século 19 e só no século 20 foi amplamente adotada nas outras áreas da ciência, evoluiu no século 20 até às macromoléculas e supramoléculas. Por sua vez as noções de auto-ordenamento e de estruturas fora de equilíbrio, e sucessos importantes na teoria e na metodologia computacional permitiram o trato de sistemas cada vez mais como complexos, como as nano e mesoestruturas. [...]” (IMMC / LQES)

O IMMC previa "o compartilhamento de informações sobre a criação, aperfeiçoamento, conhecimento e aplicação de materiais com propriedades específicas como ópticas, elétricas, mecânicas, entre outras, que possuem grande potencial de aplicação científica ou tecnológica" (*Institutos do Milênio/ CNPq*). Até dezembro de 2004, os pesquisadores da rede<sup>4</sup> produziram 191 artigos científicos e 15 patentes, superando as expectativas. Os temas que receberam contribuições do IMMC em sua primeira fase incluem borracha natural com valor agregado pela tecnologia; modificação iônica de polímeros; diversificação de produtos industriais a partir das mesmas matérias-primas; e sensores ambientais. (GALEMBECK, dezembro/2004)

As colaborações entre diferentes grupos de pesquisa aumentaram, inclusive com instituições no exterior, como na Espanha. Houve, também, aproximação com o setor produtivo, por meio de projetos de pesquisa e desenvolvimento com empresas como Oxiteno, Bunge, Rhodia e Helios-Carbex. A formação de recursos humanos foi outra preocupação, sendo alguns pós-graduados absorvidos por empresas.

Ao entrar em sua segunda edição, o IMMC – agora chamado de IM<sup>2</sup>C – assumiu a missão de reforçar as colaborações entre os grupos de pesquisa e empresas.

"Atividades cooperativas [...] deverão gerar novos conhecimentos, idéias e produtos inovadores; especialmente nas áreas de sensores e bio-sensores, catálise, nanomateriais, nanopartículas, reconhecimento molecular, interações moleculares no estado gasoso, modelagem molecular, eletroanalítica, transistores moleculares, dispositivos e materiais luminescentes e eletroluminescentes, baterias, fármacos, materiais poliméricos funcionais, além de nanocompósitos e nanomateriais moleculares." (<[www2.iq.usp.br/im2c](http://www2.iq.usp.br/im2c)>)

Cabe mencionar que Oscar Malta (UFPE), coordenador da Renami, também está entre os principais pesquisadores do IMMC/IM<sup>2</sup>C.

## 6.2) Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos

O Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos (IMMP)<sup>5</sup> é formado por químicos, físicos e engenheiros. Eles estudam as propriedades de materiais poliméricos orgânicos e biopoliméricos e suas aplicações em dispositivos eletrônicos, optoeletrônicos e fotônicos, na medicina e em outros setores. Até dezembro de 2004, haviam sido produzidos 200 artigos científicos, 70 teses de doutorado ou dissertações de mestrado, e cinco patentes. (OLIVEIRA JR, dezembro/2004)

Como resultados do IMMP, pode-se citar, também, o fortalecimento de grupos de pesquisa emergentes e o contato com o setor produtivo:

"Na área de transferência de tecnologia, o IMMP contribuiu para o desenvolvimento da tecnologia de látex em terapias de regeneração, que levou à criação da Indústria Nova Pele, hoje instalada em Campo Grande, no Mato Grosso. Outro passo importante em transferência de tecnologia, hoje em curso, é o trabalho conjunto do IMMP e do Genius Instituto de

Tecnologia (membro do IMMP) no intuito de instalar uma planta de produção de Displays poliméricos no Brasil, oriunda da tecnologia licenciada pela indústria Cambridge Display Technology da Inglaterra.” (<[www.if.sc.usp.br/~immp](http://www.if.sc.usp.br/~immp)>)

Outro resultado seria o sensor língua eletrônica, iniciado em um grupo pertencente ao IMMP e ainda hoje desenvolvido e aprimorado por grupos ligados a esse Instituto. Chama a atenção que o mérito da língua eletrônica também é atribuído ao sub-grupo Nanobiossensores da Rede Nanobiotec (Edital CNPq Nano nº 01/2001). Nesse contexto, cabe mencionar que Luiz Mattoso (Embrapa) está entre os pesquisadores principais do IMMP e foi coordenador do sub-grupo Nanobiossensores. No entanto, destaca-se que os trabalhos que levaram à língua eletrônica, com participação do pós-doutorando Antonio Riul Jr, começaram antes da formação da Rede e do Instituto. Isso porque, em 2001, quando as redes foram criadas, a língua eletrônica já rendia patente e prêmio.

O IMMP conta com 33 pesquisadores principais, além dos grupos emergentes, e mantém colaborações com cientistas estrangeiros, em países como Itália, França, Estados Unidos, Canadá, Polônia, Alemanha e Portugal.

“Um dos colaboradores do IMMP é o Prof. Alan MacDiarmid, da Universidade da Pensilvânia, EUA, ganhador do Prêmio Nobel de Química de 2000. Juntamente com A. Heeger e H. Shirakawa, o Prof. MacDiarmid foi agraciado com o Nobel não só pela inovação nos métodos de síntese e desenvolvimento dos modelos teóricos que explicaram o caráter semicondutor dos polímeros sintéticos, mas também pela demonstração inequívoca do seu potencial tecnológico. Isso ilustra a necessidade de uma ação concentrada em pesquisa fundamental e na busca por aplicações e transferência de tecnologia, como é a filosofia do IMMP.” (OLIVEIRA JR; FARIA, 2002)

Em resumo, a missão do IMMP engloba desde a pesquisa básica e a formação de recursos humanos até a ponte com as empresas, sendo que a transferência de tecnologias para o setor empresarial é feita, principalmente, pelo instituto Genius, sediado na Zona Franca de Manaus.

“Na área de dispositivos, a expectativa é que sejam adquiridos novos conhecimentos tecnológicos que possam gerar patentes e desenvolvimento de novos processos. A exemplo da patente que estamos em via de registrar sobre o aumento da eficiência de diodos emissores de luz orgânicos devido à introdução de uma camada transportadora de elétrons, entre o catodo e o filme emissor, os avanços nas pesquisas em encapsulamento de dispositivos e de impressão de circuitos flexíveis com impressora de jato de tinta podem gerar novos conhecimentos com propriedade intelectual.” (<[www.if.sc.usp.br/~immp](http://www.if.sc.usp.br/~immp)>)

### **6.3) Instituto de Nanociências / Instituto de Nanotecnologia**

O Instituto de Nanociências reuniu 64 pesquisadores de 13 instituições e estava dividido em quatro áreas temáticas: nanotubos de carbono e sistemas relacionados; nanossistemas orgânicos/inorgânicos e biológicos; semicondutores nanoestruturados; e nanoestruturas de materiais magnéticos. (CHAVES, dezembro/2004) O Instituto foi criado

com os objetivos de aumentar o entendimento das propriedades físicas e químicas de sistemas nanoestruturados e desenvolver novos sistemas; consolidar colaborações entre os pesquisadores associados; fortalecer grupos de pesquisa emergentes; incentivar o uso compartilhado de infra-estrutura laboratorial; e treinar recursos humanos para o trabalho interdisciplinar. (Ibid, dezembro/2004)

As realizações do Instituto envolveram propriedades ópticas de nanotubos simples; *quantum dots*; nano-ímãs; filmes finos de polímeros conjugados contendo nanopartículas metálicas para aplicações em *laser*; nanofabricação por litografia; avanços teóricos em spintrônica; e uso de pinças ópticas para manipular moléculas únicas de DNA e outros sistemas biológicos. Até dezembro de 2004, foram produzidos mais de 300 artigos científicos. Houve colaborações com mais de 50 grupos de pesquisa nos Estados Unidos, na Europa, na América Latina e no Japão. (Ibid, dezembro/2004) Nas reuniões científicas promovidas pela rede, foram apresentados trabalhos com parceiros estrangeiros do Massachusetts Institute of Technology, dos Hewlett-Packard Laboratories e da Johns Hopkins University, entre outros. (*I Encontro Instituto de Nanociências*, 2002)

Como continuidade do Instituto de Nanociências, foi criado o Instituto de Nanotecnologia<sup>6</sup>:

“Trata-se de uma rede multidisciplinar de pesquisadores dedicados aos desenvolvimentos orientados a produtos e inovação em tópicos, tais como sensores, nanocápsulas, células foto-voltaicas, dispositivos emissores de luz, produção de nanotubos, detectores de luz no infra-vermelho, assim como à pesquisa fundamental em materiais nanoestruturados (síntese, nanofabricação, caracterização e simulação).” (*Institutos do Milênio/ CNPq*)

A mudança de nome de nanociências para nanotecnologia sugere uma inclinação maior para as aplicações nanotecnológicas. Contudo, a ciência básica não perdeu seu peso no Instituto. Prova disso é o fato de sua atual coordenadora, Belita Koiller (UFRJ), atuar na área de física teórica.

#### **6.4) Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microssistemas e Nanoeletrônica / Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes**

A Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microssistemas e Nanoeletrônica (SCMN) foi criada com o propósito de dar um novo impulso à pesquisa nessas áreas, ao integrar universidades e empresas ligadas ao setor. (*Institutos do Milênio/ CNPq*) A SCMN originou, em 2005, a Rede de Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes (Namitec), que reúne mais de 90 pesquisadores de 19 instituições<sup>7</sup> e realiza pesquisas em sistemas em chip, circuitos integrados, dispositivos micro e nanoeletrônicos, fotônicos e optoeletrônicos, orgânicos, micro-eletromecânicos e nano-eletromecânicos, e materiais e técnicas de micro e nanofabricação.

"O Instituto do Milênio proposto tem um caráter estratégico para tornar possível a implantação no Brasil de indústrias de base eletrônica inovadoras – ou de fornecedoras de tecnologias para essas – no domínio da micro e nanoeletrônica. Atualmente, não há indústria de produção de CIs [circuitos integrados] no país, sendo a produção nacional de componentes eletrônicos semicondutores insignificante, quando comparada aos US\$ 210 bilhões produzidos em chips no mundo em 2004. A indústria local usa-os como insumo – e inova pouco no projeto e na produção de produtos eletrônicos. Como consequência, o país apresenta um enorme e crescente déficit de balança comercial nesta área. [...] A não-disponibilidade de capacitação e meios para produzir chips, microsistemas e acompanhar a evolução desta área coloca o Brasil em séria dependência estratégica, condena a indústria a uma posição periférica e a sociedade a uma dependência de disponibilidade externa de insumos para setores decisivos para o país." (<[www.ccs.unicamp.br/namitec](http://www.ccs.unicamp.br/namitec)>)

O trecho acima pode convencer o público não-especialista da importância da Namitec. Contudo, esse público pode ficar um pouco assustado com uma outra passagem do *site* da Namitec na internet, onde se lê que:

"Com os recursos de desenvolvimento de micro-sensores acoplados aos circuitos eletrônicos em um mesmo chip, a computação pode capilarizar, chegando até o interior dos equipamentos de uma planta de produção ou de um escritório, ou até mesmo de uma pessoa." (<[www.ccs.unicamp.br/namitec](http://www.ccs.unicamp.br/namitec)>)

A imagem que vem à cabeça – a computação no interior de uma pessoa – deflagra uma série de questões éticas e sociais, que serão analisadas no Capítulo 10. Os resultados da Namitec podem ter impactos em segmentos como agricultura de precisão, controle ambiental, energia, instrumentação biomédica, telecomunicações, indústrias automotiva e aeroespacial. Até novembro de 2006, haviam sido publicados quase 100 artigos em revistas científicas e alguns dispositivos estavam em testes para possível viabilização de produtos, como um sistema de controle de irrigação, um sensor de pressão e um sensor de glicose. Entre as dificuldades da Namitec, pode-se citar o atraso na liberação de recursos e a evasão de doutorandos, que ocorre porque a iniciativa privada oferece a esses profissionais salários bem melhores do que as bolsas de estudo, sobretudo na área de engenharias. (SWART, novembro/2006)

É interessante como se dá o crescimento de uma rede de pesquisa como a Namitec. Como exemplos, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) foi incluída devido à transferência de um pesquisador da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para lá, enquanto a Universidade Federal da Bahia (UFBA) foi incluída porque mantinha uma colaboração com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), esta já integrada à rede. (Ibid, novembro/2006) Além disso, a Namitec nutre colaborações com a Universidade Federal do Amazonas (Ufam) e com o Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus (CT-PIM), visando formar recursos humanos para a região. Os pesquisadores da rede também interagem com empresas no

Brasil, como a Aegis Semicondutores, e no exterior. Mantêm, ainda, parcerias com grupos de pesquisa em países como Holanda, Portugal, Austrália, Porto Rico, Uruguai, Estados Unidos, França e Chile, entre outros. (<[www.ccs.unicamp.br/namitec](http://www.ccs.unicamp.br/namitec)>)

Por fim, como esta é uma dissertação com foco em nanotecnologia, é importante comentar a visão do coordenador da Namitec, Jacobus Swart (Unicamp), segundo o qual a nanotecnologia nem sempre é a melhor opção, visto que a microtecnologia, por vezes, oferece um melhor custo/benefício. (SWART, 2006) Além disso, Swart defende que a micro e a nanoeletrônica não devem ser tratadas separadamente, apesar de muitos cientistas considerarem que a micro representa o antigo e a nano o novo paradigma. Voltaremos a essas questões no Capítulo 12.

## NOTAS

<sup>1</sup> Indiretamente significa que um determinado pesquisador (ou estudante de pós-graduação) pode não estar formalmente entre os integrantes da rede, mas realiza um projeto com alguns desses integrantes. Mesmo que esse projeto não receba recursos financeiros oriundos da rede, ele compartilha com ela recursos humanos e informações, por exemplo. Isso demonstra que a criação de uma rede pode ir além do aporte financeiro e que, talvez, sua maior vantagem seja a mobilização coordenada de pesquisadores em torno de causas comuns.

<sup>2</sup> A partir dos Editais do CNPq MSI n<sup>o</sup> 01/2001, de março de 2001, e MSI n<sup>o</sup> 02/2001, de maio de 2001.

<sup>3</sup> Além dessas quatro propostas, pelo menos uma outra aprovada em 2005 tinha a ver com nanociência e nanotecnologia: o Instituto de Óptica não Linear, Fotônica e Bio-Fotônica, cujos trabalhos visam, por exemplo, à síntese e à caracterização de sistemas nanoestruturados. Cabe destacar que quem está à frente desse Instituto é Cid Bartolomeu de Araújo (UFPE), que compareceu àquela reunião sobre nanotecnologia no final do ano 2000, promovida pelo MCT. (Capítulo 3)

<sup>4</sup> Em sua primeira etapa, o IMMC era constituído por pesquisadores de quatro instituições: Unicamp, USP, UFRJ e UFPE. Na segunda etapa, outras três foram incorporadas: UFPR, PUC-RJ e UFC (Universidade Federal do Ceará).

<sup>5</sup> O IMMP é formada por profissionais das seguintes instituições: Universidade de São Paulo (USP), campi São Carlos, São Paulo e Ribeirão Preto e Escola Politécnica; Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG); Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade Federal do Amazonas (Ufam); Embrapa Instrumentação Agropecuária; Universidade Federal do Paraná (UFPR); Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Coppe/UFRJ; Universidade Federal do Piauí (UFPI); Universidade Estadual Paulista (Unesp), campi Presidente Prudente e Rio Claro; Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Genius Instituto de Tecnologia; Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS); e Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

<sup>6</sup> O Instituto de Nanotecnologia envolve Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Universidade Federal Fluminense (UFF); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF); Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Universidade de São Paulo (USP), campi São Paulo e Ribeirão Preto; Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade Federal do Ceará (UFC); Embrapa Gado de Corte; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEM); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Universidade Federal da Bahia (UFBA); Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj); Universidade Federal de São Carlos (UFSCar);

Universidade Federal de Viçosa (UFV); Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS); Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ); Instituto de Estudos Avançados do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (IEAv/CTA); e Universidade Federal de Lavras (Ufla).

<sup>7</sup> Participam da Namitec Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade de São Paulo (USP); Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ); Universidade Federal do Maranhão (UFMA); Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Universidade de Brasília (UnB); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Embrapa Instrumentação Agropecuária; Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Universidade Presbiteriana Mackenzie; Faculdade de Engenharia Industrial (FEI); Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec-SP); Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); e Universidade Federal da Bahia (UFBA).

## REFERÊNCIAS

- CHAVES, Alaor. *Instituto do Milênio de Nanociências* (Apresentação no Workshop de Nanotecnologia e Nanociência Brasil/União Européia). São Paulo: dezembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7597.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7597.pdf)>. Acesso em 14/01/2007.
- DOCUMENTO Básico Institutos do Milênio. MCT, março/2001. Disponível em <[www.cnpq.br/programasespeciais/milenio/docbasic.htm](http://www.cnpq.br/programasespeciais/milenio/docbasic.htm)>. Acesso em 10/06/2007.
- EDITAL MCT/CNPq nº 01/2005 – Programa Institutos do Milênio, 2005-2008. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0105\\_milenio.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0105_milenio.htm)>. Acesso em 14/01/2007.
- EDITAL MCT/CNPq nº 01/2005 – Programa Institutos do Milênio, 2005-2008. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_012005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_012005.htm)>. Acesso em 14/01/2007.
- I ENCONTRO Instituto de Nanociências (Caderno de Resumos). Setembro/2002.
- GALEMBECK, Fernando. *Instituto do Milênio de Materiais Complexos* (Apresentação no Workshop de Nanotecnologia e Nanociência Brasil/União Européia). São Paulo: dezembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7600.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7600.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
- INSTITUTO do Milênio de Materiais Complexos (IMMC) / LQES: <[http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/projetos\\_pesquisas/projetos\\_pesquisa\\_milenio.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/projetos_pesquisas/projetos_pesquisa_milenio.html)>. Acesso em 14/01/2007.
- INSTITUTO do Milênio de Materiais Complexos (IM<sup>2</sup>C) / USP: <[www2.iq.usp.br/im2c](http://www2.iq.usp.br/im2c)>. Acesso em 10/06/2007.
- INSTITUTO Multidisciplinar de Materiais Poliméricos (IMMP) / USP – São Carlos: <[www.if.sc.usp.br/~immp](http://www.if.sc.usp.br/~immp)>. Acesso em 10/06/2007.
- INSTITUTOS do Milênio/ CNPq: <[www.cnpq.br/programasespeciais/milenio/projetos.htm](http://www.cnpq.br/programasespeciais/milenio/projetos.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- MARTINS, Paulo. Comunicação oral no seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde/ Projeto Ghente. Rio de Janeiro: Ensp/Fiocruz, 23/03/2007.
- OLIVEIRA JR, Osvaldo N. *Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos* (Apresentação no

Workshop de Nanotecnologia e Nanociência Brasil/União Européia). São Paulo: dezembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7601.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7601.pdf)>. Acesso em 13/01/2007.

- OLIVEIRA JR, Osvaldo N.; FARIA, Roberto M. Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos. *Polímeros*, vol. 12, n. 1, p. E4-E7, 2002. Disponível em <[www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9873.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9873.pdf)>. Acesso em 10/06/2007.
- SWART, Jacobus. *Instituto do Milênio – Namitec*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/jws.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/jws.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- SWART, Jacobus. *Relatório Namitec*. 9 p., novembro/2006. Disponível em <[www.ccs.unicamp.br/namitec/relatorios/Relatorio\\_NAMITEC\\_Nov2006.pdf](http://www.ccs.unicamp.br/namitec/relatorios/Relatorio_NAMITEC_Nov2006.pdf)>. Acesso em 14/01/2007.
- TECNOLOGIAS de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes (Namitec) / Unicamp: <[www.ccs.unicamp.br/namitec](http://www.ccs.unicamp.br/namitec)>. Acesso em 15/01/2007.

## CAPÍTULO 7: LABORATÓRIOS NACIONAIS E ESTRATÉGICOS

Os capítulos anteriores abordaram as redes e os Institutos do Milênio relacionados à nanociência e à nanotecnologia. Para completar o mosaico de grupos de pesquisa dedicados a esses temas no país, este capítulo se dedica a cinco instituições que receberam destaque no Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN): o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), o Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (CNPDIA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (Cetene) do Instituto Nacional de Tecnologia (INT). (MCT, junho/2006)

### 7.1) LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON (LNLS)

Ao acessar o endereço <[www.nano.org.br](http://www.nano.org.br)>, o internauta é direcionado ao *site* do LNLS, indício de que essa instituição guarda estreita relação com a nanociência e a nanotecnologia. Outro indício é o fato de que o Programa Nacional de Nanotecnologia foi lançado durante cerimônia no LNLS, em Campinas. De fato, a própria definição de luz síncrotron já demonstra como a instituição desempenha papel importante nos estudos em escala nanométrica:

“Luz síncrotron é a intensa radiação eletromagnética produzida por elétrons de alta energia num acelerador de partículas. [...] 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.” (<[www.lnls.br](http://www.lnls.br)>)

A fonte de luz síncrotron construída pela equipe do LNLS – a única disponível no Hemisfério Sul – começou a funcionar em julho de 1997. Aberto a usuários de outras instituições do Brasil e do exterior, o LNLS inclui não só o complexo em torno da fonte de luz síncrotron, mas também outros laboratórios, como os de microscopia.

“Com esses equipamentos – e também os destinados à preparação de amostras dos materiais que um pesquisador pretende estudar –, o LNLS dotou o país de uma infra-estrutura capaz de colocar a pesquisa em nanociência em condições competitivas com os mais avançados centros de pesquisa do exterior.” (<[www.lnls.br](http://www.lnls.br)>)

São linhas de pesquisa do LNLS nanofios metálicos; nanopartículas de semicondutores; nanopartículas de metais nobres; nanopartículas magnéticas; nanopartículas para informação quântica; caracterização de nanocristais semicondutores epitaxiais por difração de raios-X; nanomanipulação de nanopartículas; quantificação de parâmetros estruturais e químicos de nanoestruturas; e poluentes nanoestruturados. Há também pesquisas sobre a estrutura tridimensional de proteínas, com aplicação no setor

farmacêutico. É a Associação Brasileira de Luz Síncrotron (ABTLuS) que opera o LNLS, por meio de contrato assinado com o CNPq e o MCT.

## **7.2) INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO)**

Autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o Inmetro tem a missão de promover a adoção de práticas para melhorar a qualidade de produtos e serviços, visando fortalecer as empresas nacionais.

Em julho de 2005, o diretor de Metrologia Científica e Industrial do Inmetro, Humberto Brandi, e o secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento do MCT, Cylon Gonçalves da Silva, assinaram um comunicado para formar um grupo de trabalho que estudaria a criação do Centro Nacional de Nanometrologia no Inmetro. (*Inmetro – Notícias*, 06/07/2005) A importância da iniciativa foi destacada pelo ministro da Ciência e Tecnologia, Sergio Rezende: “A criação do Centro de Nanometrologia do Inmetro é uma das principais ações do PNN. A nanometrologia é um dos meios para produzirmos mais inovação para a indústria” (Apud *Inmetro – Notícias*, 06/10/2005).

Em janeiro de 2007, a autora desta dissertação conversou por telefone com o assessor científico do Inmetro Carlos Alberto Achete, que explicou os desdobramentos do projeto de criação do Centro de Nanometrologia:

“No Inmetro, antes de 2005, havia ações independentes em nano. Depois de 2005, essas ações foram reunidas e caracterizadas como Centro. Para o funcionamento do Centro, instalações físicas já existentes foram readaptadas e novos equipamentos (microscópios) foram adquiridos. Hoje, equipamentos estão em fase de instalação. Um prédio novo para o Centro será construído, mas as obras ainda não começaram. Isso está sendo licitado agora. A previsão é de que o novo prédio esteja pronto até o final de 2008.” (ACHETE, 2007)

No quesito infra-estrutura, um Espectrômetro Raman foi instalado no Laboratório de Espectroscopia da Divisão de Metrologia de Materiais do Inmetro. Entre as aplicações do equipamento, destacam-se a certificação da síntese de nanotubos de carbono e o estudo de propriedades ópticas desses materiais. (*Inmetro – Notícias*, 02/03/2006) Além disso, por meio do Edital nº 001/2006, a Incubadora de Empresas do Inmetro selecionou projetos para o desenvolvimento tecnológico de diferentes áreas, entre elas a nanometrologia.

O Instituto também busca fazer alianças internacionais. Em julho de 2005, o presidente do Inmetro, João Jornada, participou da missão brasileira a Israel, ocasião em que se discutiu a possibilidade de intercâmbio entre os dois países nas áreas de nanotecnologia, microeletrônica e biotecnologia. (*MDIC – Notícias*, 26/07/2005) Em agosto de 2006, Brandi apresentou trabalho em evento de nanociência na Turquia. (*Inmetro – Notícias*, 31/07/2006) Mais ou menos na mesma época, o cientista indiano C. N. R. Rao,

renomado na área de química de materiais e presidente da Academy of Sciences for the Developing World, ministrou palestra no Inmetro sobre a dimensão da química na nanociência. (*Inmetro – Notícias*, 30/08/2006)

### 7.3) CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS (CBPF)

Criado em 1949 como sociedade civil sem fins lucrativos, o CBPF se tornou parte do CNPq em 1976. Mais tarde, o CBPF seria palco de discussões iniciais sobre a criação do LNLS.

“O CBPF tem tido uma participação crescente em nanociência e nanotecnologia. Suas linhas de pesquisa abrangem desde o estudo e fenômenos e propriedades intrínsecas à matéria na escala nanoscópica até o desenvolvimento e a análise de matérias-primas em parceria com empresas privadas.” (*Nanociência e Nanotecnologia/CBPF*)

O Laboratório de Nanoscopia, criado em 1994 e ampliado em 1997, estuda diversos materiais utilizando a microscopia de força atômica e outras técnicas. Já o Laboratório de Materiais Biocerâmicos estuda, por exemplo, a hidroxiapatita (componente de ossos e dentes):

“Os nanocristais de HAP têm alta capacidade de absorver moléculas, o que faz deles candidatos perfeitos para várias tarefas: 'carregadores' de drogas para o tratamento do câncer ósseo; absorvedores de metais pesados (chumbo, cádmio, zinco, cobre etc) presentes em rejeitos industriais ou em águas contaminadas; 'aceleradores' (catalisadores) da decomposição de poluentes industriais.” (*Ibid/CBPF*)

O CBPF conta, também, com o Laboratório de Filmes Finos, ligado ao Grupo de Materiais Avançados, e com o Laboratório de Magnetismo, que trabalha com nanoímãs e microSQUIDs (sensores ultra-sensíveis de campo magnético). Além disso, existe um projeto dedicado a materiais magnéticos nanocristalinos com potencial para economia de energia.

Cabe comentar, por fim, que o *site* do CBPF (<[www.cbpf.br](http://www.cbpf.br)>) disponibilizava uma lista de teses realizadas na instituição desde 1966. O primeiro trabalho cujo título usa o prefixo nano data de 1998: a tese *Medidas em escala nanométrica de propriedades mecânicas e ópticas* foi realizada por Rodrigo Prioli, hoje integrante da Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados (Edital MCT/CNPq nº 29/2005).

### 7.4) EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA)

Criada em abril de 1973 e vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a Embrapa pode ser considerada pioneira no país no que se refere à pesquisa e ao desenvolvimento em nanotecnologia com foco no agronegócio (<[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)>). Nanociência e nanotecnologia fazem parte das ações da Embrapa há mais de dez anos. Em 1996, a Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, adquiriu um microscópio de varredura por sonda e, em seguida, o pesquisador Paulo

Herrmann Jr fez treinamento na área no IBM Almaden Research Center. (MARTIN NETO, 2006)

A Embrapa Instrumentação Agropecuária lançou, em 17 de abril de 2006, o Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), cujas obras começaram em setembro daquele ano. (*Embrapa - Notícias*, 17/11/2006) A previsão de investimentos no LNNA era de R\$ 4 milhões (2006-2008), com financiamento do MCT, por meio da Finep. As linhas de pesquisa do novo laboratório incluem desenvolvimento de sensores e biossensores para monitorar a qualidade de alimentos, biocombustíveis, água e resíduos do agronegócio; embalagens inteligentes; nanopartículas para liberação controlada de pesticidas na lavoura e fármacos de uso veterinário; novos usos para produtos ou subprodutos agropecuários; nanomanipulação gênica; caracterização e síntese de novos materiais. (MARTIN NETO, 2006)

O LNNA não será de uso exclusivo da Embrapa Instrumentação Agropecuária: estará aberto a outras unidades da Embrapa, outras instituições de pesquisa, universidades e iniciativa privada. (SIMÕES, 2006) Entre os pesquisadores envolvidos com o LNNA, estão Paulo Herrmann Jr, Odílio de Assis e Luiz Mattoso, um dos responsáveis pelo projeto da língua eletrônica.

Produto nanotecnológico mais afamado da Embrapa, desenvolvido em parceria, por exemplo, com a Universidade de São Paulo (USP), a língua eletrônica é um sensor que utiliza polímeros condutores nanoestruturados e é capaz de distinguir os padrões básicos de paladar com sensibilidade maior que a da língua humana. O sensor pode ter aplicações na avaliação de café, sucos, leite, vinhos, água e outros produtos. (MARTIN NETO; MATTOSO, 2005)

A língua eletrônica ganhou, em 2001, o Prêmio Governador do Estado de São Paulo, na categoria Invento Brasileiro. (MARTIN NETO, 2006) Além disso, foi apresentada em um evento internacional de nanotecnologia no Japão, em 2003. (*Embrapa – Notícias*, 27/02/2003) A tecnologia, aplicada especificamente ao café, foi repassada à iniciativa privada em 2005. A transferência foi feita para a empresa BR Sensor, de São Carlos. (ERENO, 2006)

Outro projeto da Embrapa em nanotecnologia é sobre filmes protetores comestíveis para frutas e legumes, visando aumentar o tempo de conservação desses alimentos. (MARTIN NETO, 2006) Além disso, dois projetos da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em Brasília, foram apresentados no evento Nanotec Expo 2005, em São Paulo: um método para detectar proteínas de origem animal em rações de ruminantes, com o objetivo de evitar a transmissão de doenças como o mal da vaca louca, causado por proteínas denominadas príons; e o estudo de substâncias biologicamente ativas encontradas na pele de anfíbios e que podem ter aplicações contra pragas na agricultura e

doenças do gado. (*Embrapa – Notícias*, 05/07/2005) Já a Embrapa Solos, no Rio de Janeiro, estuda as zeólitas, minérios com redes de poros nanométricos que retêm compostos nitrogenados e, assim, permitem reduzir a quantidade de aplicações de fertilizantes. Esse uso das zeólitas proporcionou um aumento de 20% na produtividade de hortaliças. (*Embrapa – Notícias*, 01/06/2007)

### **7.5) CENTRO DE TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS DO NORDESTE (CETENE)**

O Cetene foi criado em 2005 pelo MCT e está localizado na Cidade Universitária do Recife. Sua missão engloba pesquisa, desenvolvimento tecnológico, inovação e transferência de tecnologias, com foco nas necessidades e oportunidades do Nordeste. O Cetene busca atuar como facilitador da formação de redes que integrem universidades, centros de pesquisa e empresas. A nanotecnologia é uma de suas principais áreas de atuação. (<[www.bergbrandt.com.br/cetene/asp/home.asp](http://www.bergbrandt.com.br/cetene/asp/home.asp)>)

O Programa de Nanotecnologia do Cetene está associado à Rede de Nanotecnologia do Nordeste, que reúne instituições como Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Em estudos de prospecção junto a indústrias nordestinas, o Centro já identificou possibilidades de incorporação da nanotecnologia, por exemplo, no setor têxtil. (GALVÃO, 2006)

O Cetene trabalha na implantação do Laboratório Regional de Referência em Nanotecnologia, com recursos de cerca de R\$ 4 milhões. (GALVÃO, janeiro/2007) A previsão é que o Laboratório, com caráter multiusuário, aberto a cooperações técnico-científicas para o Nordeste, inclusive com participação de indústrias, seja inaugurado em meados de 2007. (GOMES, 2007) O Cetene também está construindo um Núcleo de Microscopia Eletrônica, multiusuário, voltado a pesquisas com materiais biológicos e nano-estruturados. (GALVÃO, março/2007)

### **REFERÊNCIAS**

- ACHETE, Carlos Alberto. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 18/01/2007.
- BRASIL participa de evento de nanotecnologia no Japão. *Embrapa – Notícias*, 27/02/2003. Disponível em <[www.embrapa.gov.br/noticias/banco\\_de\\_noticias/2003/fevereiro/bn.2004-11-25.9663345082/mostra\\_noticia](http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2003/fevereiro/bn.2004-11-25.9663345082/mostra_noticia)>. Acesso em 31/08/2006.
- BRASIL terá laboratório de nanotecnologia em 2007. *Embrapa – Notícias*, 17/11/2006. Disponível em <[www.embrapa.gov.br/noticias/banco\\_de\\_noticias/folder.2006/novembro/foldernoticia.2006-11-03.7853981089/noticia.2006-11-17.6543817656/mostra\\_noticia](http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/folder.2006/novembro/foldernoticia.2006-11-03.7853981089/noticia.2006-11-17.6543817656/mostra_noticia)>. Acesso em 12/06/2007.

- CENTRO Brasileiro de Pesquisas Físicas: <[www.cbpf.br](http://www.cbpf.br)>. Acesso em 31/08/2006.
- CENTRO de Tecnologias Estratégicas do Nordeste: <[www.bergbrandt.com.br/cetene/asp/home.asp](http://www.bergbrandt.com.br/cetene/asp/home.asp)>. Acesso em 31/08/2006.
- CERTIFICAÇÃO de nanotubos. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 02/03/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=1843](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=1843)>. Acesso em 18/01/2007.
- CONFERÊNCIA em nanociência. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 31/07/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=2168](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=2168)>. Acesso em 18/01/2007.
- EDITAL n<sup>o</sup> 001/2006 – Processo Inmetro n<sup>o</sup> 52600.008334/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/metcientifica/incubadora/Edital001\\_06.pdf](http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/incubadora/Edital001_06.pdf)>. Acesso em 18/01/2007.
- EMBRAPA vai apresentar tecnologias em feira de nanotecnologia. *Embrapa – Notícias*, 05/07/2005. Disponível em <[www.embrapa.gov.br/noticias/banco\\_de\\_noticias/2005/folder.2005-06-30.8880213159/foldemoticia.2005-06-30.9185161360/noticia.2005-07-05.5502141939/mostra\\_noticia](http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2005/folder.2005-06-30.8880213159/foldemoticia.2005-06-30.9185161360/noticia.2005-07-05.5502141939/mostra_noticia)>. Acesso em 31/08/2006.
- EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária: <[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)>. Acesso em 31/08/2006.
- ERENO, Dinorah. Texturas e sabores. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 119, janeiro/2006. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2746&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2746&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 12/06/2007.
- ESPECIALISTAS buscam elos em nanotecnologia para produção agrícola e mercado de commodities. *Embrapa – Notícias*, 01/06/2007. Disponível em <[www.ctaa.embrapa.br/noticias/noticia.php?id=completa&cod=46](http://www.ctaa.embrapa.br/noticias/noticia.php?id=completa&cod=46)>. Acesso em 06/06/2007.
- GALVÃO, Fabiana. Nordeste terá laboratório de referência em nanotecnologia. *Agência CT*, 20/07/2006. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/40530.html>>. Acesso em 26/01/2007.
- GALVÃO, Fabiana. Cetene investe R\$ 3,98 mi em laboratório multiusuário de nanotecnologia. *Agência CT*, 23/01/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/42934.html>>. Acesso em 25/01/2007.
- GALVÃO, Fabiana. Cetene terá laboratório de microscopia eletrônica com equipamento inédito no país. *Agência CT*, 12/03/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/43465.html>>. Acesso em 13/06/2007.
- GOMES, Anderson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 31/01/2007.
- LABORATÓRIO Nacional de Luz Síncrotron: <[www.lnls.br](http://www.lnls.br)>. Acesso em 31/01/2007.
- MARTIN NETO, Ladislau; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. Nanotecnologia: Nova Revolução Científica. *Embrapa – Notícias*, 14/07/2005. Disponível em <[www.embrapa.br/noticias/artigos/folder.2005-02-02.1550581232/artigo.Nanotecnologia/mostra\\_artigo](http://www.embrapa.br/noticias/artigos/folder.2005-02-02.1550581232/artigo.Nanotecnologia/mostra_artigo)>. Acesso em 31/08/2006.
- MARTIN NETO, Ladislau. *Aspectos da nanotecnologia e suas potencialidades no agronegócio* (Apresentação). São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 17/04/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/4227.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/4227.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- MISSÃO brasileira a Israel debate setores com potencial de intercâmbio. *MDIC – Notícias*, 26/07/2005. Disponível em <[www.mdic.gov.br/sitio/ascom/noticias/noticia.php?cd\\_noticia=6569](http://www.mdic.gov.br/sitio/ascom/noticias/noticia.php?cd_noticia=6569)>. Acesso em 18/01/2007.

- NANOCIÊNCIA e Nanotecnologia: Modelando o futuro átomo por átomo. Rio de Janeiro: CBPF / MCT.
- O INMETRO e a Nanotecnologia. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 06/07/2005. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/nanotecnologia.asp](http://www.inmetro.gov.br/noticias/nanotecnologia.asp)>. Acesso em 18/01/2007.
- QUÍMICA e a nanociência. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 30/08/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=2206](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=2206)>. Acesso em 18/01/2007.
- RELATÓRIO Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT, 68 p., junho/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- REZENDE, Sergio. IN: Ciência brasileira. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 06/10/2005. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=1727](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=1727)>. Acesso em 18/01/2007.
- SIMÕES, Janaína. Embrapa Instrumentação Agropecuária, de São Carlos, cria laboratório de nanotecnologia e sedia rede virtual de pesquisa. *Inovação Unicamp*, ed. 54, 02/05/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-embrapa060502.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-embrapa060502.shtml)>. Acesso em 31/08/2006.

## CAPÍTULO 8: COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

Documentos, apresentações e páginas na internet das redes, Institutos do Milênio e laboratórios que trabalham com nanotecnologia, freqüentemente, fazem referência a contatos com grupos de pesquisa de outros países. O físico Israel Baumvol (UFRGS), que foi coordenador da Rede Nanomat chega a dizer que, na sua área (pesquisa de materiais para nanoeletrônica), dificilmente um trabalho pode ser realizado sem colaborações internacionais. (BAUMVOL, 2006)

Na virada do século XXI, quando uma iniciativa coordenada em nanotecnologia começou a ser desenhada, o Comitê de Articulação criado para estudar o assunto fez o seguinte diagnóstico:

“O quadro internacional na área de nanociência e nanotecnologia foi objeto de [...] estudo americano realizado em 1999. A partir dos resultados desse estudo, os Estados Unidos [...] estimularam os programas e investimentos interagências [...] que levaram a um programa de 495 milhões de dólares para o ano fiscal de 2001. O mesmo documento revela que o investimento mundial, até 1999, foi desta mesma ordem de grandeza, com destaque para Japão e vários países da Europa. A América do Sul não é citada no estudo, o que demonstra apenas que não há um grau de investimento e apoio coordenado, apesar das importantes iniciativas individuais.” (GOMES et al, 2001, p. 8-9)

Para elaborar uma iniciativa brasileira em nanotecnologia, o Comitê de Articulação buscou referências no exterior: ele fez contato com pesquisadores e responsáveis pelo programa americano e pelos programas europeus de nanociência e nanotecnologia. Mais tarde, o documento-base do programa brasileiro de nanotecnologia é bem claro: entre suas diretrizes, está “promover a cooperação internacional e a inserção internacional da nanotecnologia brasileira” (SÁ et al, 2003, p. 9); entre suas estratégias de curto prazo, lê-se “cooperação internacional com laboratórios de nanotecnologia” (Ibid, p. 13).

O livro *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*, escrito por pesquisadores da Rede Nanobiotec, diz que instituições de pesquisa e ensino em todo o Brasil “têm expandido suas fronteiras para se integrar no estabelecimento de parcerias com institutos e grupos de excelência em nanotecnologia nos Estados Unidos, na Europa, China, América Latina e no Japão” (DURAN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 11).

Contudo, relatório de nanotecnologia elaborado pelo MCT apresenta uma visão um pouco diferente sobre esse assunto.

“As demandas para desenvolver cooperação internacional em nanotecnologia com o Brasil são intensas. Países como França, Alemanha, Japão, Estados Unidos, Reino Unido, Índia, China, África do Sul, Argentina, Austrália e Suíça têm feito várias tentativas de aproximação com o Brasil. Poucas cooperações encontram-se em andamento, como é o caso da cooperação com a Argentina (CBAN), França, Índia e África do Sul (IBAS). Entretanto, algumas cooperações demandam projetos de maior envergadura, como é caso dos Estados Unidos e Japão. Esses países

estão na vanguarda dessa área e, portanto, dominam praticamente todas as nanotecnologias. [...] É preciso definir, estrategicamente, quais seriam as prioridades brasileiras para se trabalhar com esses países.” (MCT, junho/2006, p. 20-21)

A comparação entre o que diz o livro e o que diz o relatório sugere que há uma certa distância entre o dia-a-dia das instituições brasileiras de ensino e pesquisa e as ações centralizadas sob coordenação do MCT. O cotidiano de cientistas em universidades e centros de pesquisa do país parece ser marcado por parcerias com grupos estrangeiros. Mas o grau de oficialidade dessas colaborações pode variar. Pode ocorrer de pesquisadores brasileiros manterem vínculos não tão oficiais com colegas de outros países. Esse tipo menos formal de relação pode se iniciar durante doutorados, pós-doutorados e outros cursos realizados no exterior, bem como durante congressos e outros eventos internacionais. Entretanto, quando os acordos saem do contexto de instituições e pesquisadores isolados e atingem as esferas centrais dos governos do Brasil e de outros países, as negociações tomam rumos mais complexos e, portanto, concretizar uma cooperação internacional pode ser mais difícil.

### **8.1) EXEMPLOS DE APROXIMAÇÃO: SUÍÇA, FRANÇA E IBAS**

Em 2003, o MCT divulgou um documento que apresenta dados sobre o histórico, a infra-estrutura, os recursos materiais e humanos, as políticas, os programas, os temas de pesquisa e os resultados relativos à nanotecnologia em 12 países de diferentes continentes: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, China, Coréia, Costa Rica, Espanha, França, Índia, Itália e Rússia. (ANJOS; MENDES; TAVARES, 2003) As informações desse relatório seriam úteis às negociações de futuros acordos de cooperação internacional.

Levantar informações e fazer contatos para futuras cooperações internacionais também são objetivos de missões brasileiras ao exterior. Em 2004, uma comitiva brasileira foi a Suíça para identificar oportunidades de projetos de cooperação em nanotecnologia entre os dois países. Na comitiva, havia representantes da academia, de empresas e do governo.

O grupo visitou instituições de ensino e pesquisa e participou da NanoFair (evento de nanotecnologia que mistura congresso e feira de produtos e aplicações comerciais). Após conhecerem os trabalhos realizados na Suíça, os brasileiros chegaram a algumas conclusões:

“Os temas não são diferentes daqueles atualmente pesquisados no Brasil. Pode-se dizer que, em muitos aspectos, as pesquisas acadêmicas estão em níveis semelhantes de conhecimento. [...] As áreas de pesquisa em nanotecnologia apontadas como potenciais para uma possível cooperação bilateral com a Suíça foram: micro-nanorobótica, micro-nanoeletrônica, materiais nanoestruturados, recobrimentos protetores e com funções especiais (extremamente transparentes, hidrofóbicos, oleofóbicos, resistentes a intempéries e desgaste). Os centros de pesquisas visitados na

Suíça apresentaram um rigoroso programa de apoio para o desenvolvimento da nanotecnologia e apresentaram-se abertos para uma possível cooperação com o Brasil. Há boas oportunidades de cooperação científica e tecnológica entre a ETH [Eidgenössische Technische Hochschule Zurich], a CSEM [Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique] e a EPFL [École Polytechnique Fédérale de Lausanne] e institutos brasileiros." (MCT, 2004, p. 9)

Outra missão brasileira à Suíça foi realizada em 2005, desta vez com foco maior no setor empresarial. Como desdobramento, o Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais (Indi) e o CSEM estabeleceram uma parceria para a instalação naquele estado de um centro de inovação em nanotecnologia e de uma fábrica para produção de micro e nanossistemas. (*Agência CT*, 31/05/2007)

Em dezembro de 2004, São Paulo foi palco do Workshop Nanotecnologia e Nanociência: Brasil - União Européia. Participantes brasileiros e europeus concluíram que era importante estabelecer colaborações de longa duração em nanociência, nanotecnologia e ciência dos materiais. E os europeus se comprometeram a facilitar os trabalhos conjuntos com o Brasil. (*Conclusões do Workshop/MCT*, 2004)

Para estreitar os vínculos do Brasil com a Europa, foi lançado o Edital MCT/CNPq nº 31/2005, que tinha como objetivo apoiar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas de nanociência, nanotecnologia ou nanobiotecnologia realizados em cooperação com a França. Os recursos oferecidos (R\$ 300 mil) eram destinados à mobilidade de pesquisadores brasileiros atuantes nos projetos: financiamento de passagens aéreas, diárias, seguro saúde e pequenas despesas com materiais de consumo necessários aos estudos. Cinco projetos foram selecionados, entre eles a Rede Cooperativa Brasil-França em processos de produção de nanopartículas para aplicação em saúde, sob coordenação de Sílvia Guterres (UFRGS) e com a participação, pelo lado francês, do Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) e das Universidades de Toulouse III e de Lyon I. (*MCT*, exercício de 2005)

Também em 2005 foi publicada a Portaria MCT nº 481, de 15 de julho, que aprovou o Documento Básico Brasileiro para o Programa de Apoio à Cooperação Científica e Tecnológica Trilateral entre Índia, Brasil e África do Sul (Programa IBAS). O Brasil já firmara acordos bilaterais para cooperação em ciência e tecnologia com a Índia, em 1985, e com a África do Sul, em 2003. Esses acordos estão na base do Programa IBAS, consolidado em reunião em Nova Delhi, em outubro de 2004, e ratificado em encontro no Rio de Janeiro, em junho de 2005.

"O Programa IBAS – Programa de Apoio à Cooperação Científica e Tecnológica Trilateral (Índia, Brasil e África do Sul) tem por objetivo apoiar atividades de cooperação em Ciência e Tecnologia que contribuam, de forma sustentada, para o desenvolvimento científico e tecnológico dos três países, mediante a geração e a apropriação de conhecimento, e a elevação da capacidade tecnológica desses países, em temas selecionados por sua

relevância estratégica, e que levem à melhoria da qualidade de vida dos seus cidadãos.” (*Anexo Portaria MCT nº 481*)

Entre as questões no âmbito do Programa IBAS, estão nanociências e nanotecnologia. Além do apoio a redes e projetos conjuntos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, outras modalidades de fomento do Programa IBAS são intercâmbio de informações e de especialistas visitantes, e realização de seminários, workshops e outros eventos trilaterais sobre temas de interesse comum. Os três países fecharam acordos para aplicar a nanotecnologia no desenvolvimento do etanol e de outros biocombustíveis. (*Agência CT, 09/04/2007*)

## 8.2) O CBAN

Entre as ações implementadas pela Ação Transversal de Nanotecnologia dos Fundos Setoriais em 2005, estava um evento relacionado ao Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN).

“Em novembro de 2005, foi realizado em Buenos Aires o 1º Seminário ‘Nanotecnologia e Empresas’. Esse evento representa o primeiro dos dois eventos estabelecidos para subsidiar a estruturação do Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia. Teve como objetivo apresentar aos empresários argentinos experiências bem sucedidas das empresas brasileiras na área de nanotecnologia.” (*MCT, exercício de 2005, p. 8*)

A proposta de criação do CBAN surgiu em 2004, em Buenos Aires, durante a reunião Ciência, Tecnologia e Sociedade, promovida pela Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC) e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). A programação incluiu um workshop sobre nanociência e nanotecnologia, planejado pelos professores Ernesto Calvo (Universidade de Buenos Aires) e Oswaldo Alves (Unicamp). Os participantes do workshop acenaram positivamente para a possibilidade de criação do CBAN, então chamado Centro Binacional de N&N, e chegou a ser lançada a idéia de estender a iniciativa aos outros países do Mercosul. (*ALVES, 2004-2005*)

A primeira proposta do que seria o CBAN foi preparada por Alves e Celso P. de Melo (UFPE), do lado brasileiro, e Calvo e Roberto Salvarezza (Instituto de Investigações Físico-químicas Teóricas e Aplicadas/Universidade Nacional de La Plata), do lado argentino. Na ocasião, Salvarezza reconhecia que a nanotecnologia no Brasil estava mais avançada do que na Argentina.

“No momento, uma cooperação entre redes não é factível, já que há uma defasagem de quatro ou cinco anos da Argentina em relação ao Brasil, além de que nosso país não reconhece a nanotecnologia como uma área estratégica. [...] Mas podemos propor às autoridades a criação de um centro binacional de apoio ao setor, nos moldes do Centro Argentino Brasileiro de Biotecnologia (Cabbio), estabelecido em 1987, que buscava integrar grupos de trabalho estatais e privados de ambas as nações.” (*Apud IVANISSEVICH, 2004, p. 70*)

Do lado brasileiro, Alves coordenou as negociações até abril de 2005, quando assumiram José d'Albuquerque e Castro (UFRJ) e Jairton Dupont (UFRGS). As negociações continuaram e, em 30 de novembro de 2005, os governos brasileiro e argentino firmaram o Protocolo para a Criação do CBAN, cujos objetivos são:

"promover o intercâmbio, a transferência de conhecimentos científicos e tecnológicos, a formação e capacitação de recursos humanos em ambos os países; elaborar e executar, por meio de núcleos de pesquisas, projetos de P&D [pesquisa e desenvolvimento] voltados para a geração de conhecimentos, produtos e processos e apoio a laboratórios de interesse econômico e/ou social para ambos os países; elaborar estudos e propostas de mecanismos operacionais para a integração dos setores públicos e privados, estimulando a criação de empregos binacionais para a produção de produtos e processos nanotecnológicos; e estudar questões relativas a patentes e propriedade intelectual e industrial na comercialização de produtos e processos nanotecnológicos". (CASTRO, 2006)

A Secretaria Executiva do CBAN no Brasil é responsabilidade da Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias. Castro e Dupont foram oficialmente designados como coordenadores brasileiros do CBAN pela Portaria MCT nº 781, de 11/10/2006<sup>1</sup>. No âmbito do CBAN, têm sido realizadas atividades como reuniões e escolas (cursos) de nanotecnologia, no Brasil e na Argentina. (*Agência CT*, 07/05/2007)

### 8.3) OUTROS EXEMPLOS: REINO UNIDO E JAPÃO

Os governos de Brasil e Reino Unido assinaram, em Londres, no dia 7 de março de 2006, um plano de ação para promover atividades cooperativas de ciência, tecnologia e inovação em áreas de interesse comum, entre elas questões éticas referentes à nanotecnologia e nanotecnologia aplicada a engenharia de materiais. (*Acordo de Cooperação*, 2006)<sup>2</sup>

No âmbito da cooperação entre Brasil e Reino Unido, foi realizado em Londres, na Royal Society, em maio de 2006, o encontro científico Brazil Day. (*Agência CT*, 22/05/2006) O evento incluiu workshops em diferentes áreas que poderiam representar oportunidades de colaboração entre os dois países, como nanotecnologia e eletrônica orgânica. (*The Royal Society*, 2006)

Também em maio de 2006, cinco brasileiros – dois representantes do MCT, um do CNPq, um da Embrapa e um da UFRJ – realizaram uma missão exploratória ao Japão. Os objetivos eram "identificar parceiros potenciais para cooperação bilateral em biotecnologia, biomassa e nanotecnologia. Em nanotecnologia, conhecer as iniciativas japonesas na área e as suas principais instituições envolvidas" (MENDES, 2006, p. 5). Os brasileiros visitaram algumas instituições, mas não puderam entrar nos laboratórios: assistiram a apresentações de projetos em andamento, como um sistema para reconhecer e direcionar uma droga à parte doente do organismo; um novo dispositivo de jato de tinta capaz de formar padrões

com tamanho inferior a um décimo do obtido com o dispositivo convencional; memória de cristal líquido; termômetro de nanotubo de carbono com gálio; osso artificial remodelado por reações celulares; e sistema capaz de detectar diversos tipos de proteínas ao mesmo tempo em uma mesma micro-placa, entre outros. A delegação brasileira concluiu que as possibilidades de cooperação científica com o Japão em nanociência e nanotecnologia são amplas.

"As áreas potenciais para uma cooperação científica vão desde o desenvolvimento de estruturas funcionais, a partir de componentes micro e nanométricos (engenharias), [...] à fabricação e caracterização de nanopartículas e o desenvolvimento de materiais para o meio ambiente e energia, o desenvolvimento de compósitos nanoestruturados (polímeros, cerâmicos), bem como aplicações em bioengenharia, medicina regenerativa e drug delivery systems, entre outras." (Ibid, p. 17)

## NOTAS

<sup>1</sup> A Portaria MCT nº 780, de 11/10/2006, designou os membros do Comitê Assessor do CBAN: Belita Koiller (UFRJ); Celso Pinto Melo (UFPE); Fernando Galembeck (Unicamp); e Nelson Duran (Unicamp).

<sup>2</sup> O acordo terá duração até 31 de dezembro de 2008, quando será avaliado e revisado.

## REFERÊNCIAS

- ACORDO de Cooperação Brasil X Reino Unido (07/03/2006): <<http://acessibilidade.mct.gov.br/index.php/content/view/12282.html>>. Acesso em 15/06/2007.
- ALVES, Oswaldo Luiz. *Nanociência e Nanotecnologia: um bom motivo para a Cooperação Científica Brasil-Argentina e a gestação do Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia*. 10 p., 2004-2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0011/11895.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0011/11895.pdf)>. Acesso em 12/06/2007.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Subsídios para Cooperação Internacional em Nanotecnologia*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT, 20 p., dezembro/2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7707.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7707.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- BAUMVOL, Israel. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 30/10/2006.
- BRASIL assina acordo para nanotecnologia. *Agência CT*, 09/04/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/43794.html>>. Acesso em 12/06/2007.
- BRASIL e Suíça debatem parcerias tecnológicas. *Agência CT*, 31/05/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/44473.html>>. Acesso em 12/06/2007.
- BRAZIL Day. The Royal Society. 2006. Disponível em <[www.royalsoc.ac.uk/page.asp?tip=1&id=4767](http://www.royalsoc.ac.uk/page.asp?tip=1&id=4767)>. Acesso em 15/06/2007.
- CASTRO, José d'Albuquerque e. *Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia*. 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/27144.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27144.html)>. Acesso em 17/06/2007.

- CBAN continua com inscrições abertas para curso em nanociência e nanotecnologia. *Agência CT*, 07/05/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/44125.html>>. Acesso em 12/06/2007.
- CONCLUSÕES do Workshop Nanotecnologia e Nanociência: Brasil – UE. MCT. 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/Temas/Nano/conclusoesWorkshop.htm](http://www.mct.gov.br/Temas/Nano/conclusoesWorkshop.htm)>. Acesso em 14/02/2006.
- DURAN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar de. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber Editora, 208 p., 2006.
- GOMES, Anderson S. L. et al. *Programa Nacional de P&D em Nanociências e Nanotecnologias/ Plano de Implementação 2001-2005/ Documento Preliminar para Discussão*. Brasília: CNPq, 44 p., abril/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc](http://www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc)>. Acesso em 11/10/2006.
- IVANISSEVICH, Alicia. Muito além do futebol. *Ciência Hoje*, vol. 36, n. 211, p. 68-71, dezembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/html/template/frameSet.php?urlFrame=http://www.eticacyt.gov.ar/AAPC\\_SBPC.pdf&objMct=Artigos%20sobre%20o%20CBAN](http://www.mct.gov.br/html/template/frameSet.php?urlFrame=http://www.eticacyt.gov.ar/AAPC_SBPC.pdf&objMct=Artigos%20sobre%20o%20CBAN)>. Acesso em 12/06/2007.
- MENDES, Alfredo de Souza. *Relatório sobre a Missão Exploratória ao Japão – Área de Nanotecnologia*. Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT. 19 p., maio/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7715.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7715.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- MINISTRO faz palestra na abertura do Brazil Day. *Agência CT*, 22/05/2006. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/34501.html>>. Acesso em 15/06/2007.
- PORTARIA MCT nº 481, de 15/07/2005. Diário Oficial da União de 19/07/2005, Seção I, p. 10. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/11492.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/11492.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 780, de 11/10/2006. Diário Oficial da União de 16/10/2006, Seção II, p. 2. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/40199.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/40199.html)>. Acesso em 17/06/2007.
- PORTARIA MCT nº 781, de 11/10/2006. Diário Oficial da União de 16/10/2006, Seção II, p. 2. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/40200.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/40200.html)>. Acesso em 17/06/2007.
- RELATÓRIO Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT, 68 p., junho/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- RELATÓRIO referente à gestão do programa “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia” no exercício de 2005. Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT. 9 p. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2705.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2705.pdf)>. Acesso em 18/07/2006.
- RELATÓRIO sobre a missão exploratória à Suíça na área de nanotecnologia visando identificação de projetos de cooperação bilateral para o setor. Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/MCT. 10 p., 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7327.doc](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7327.doc)>. Acesso em 03/01/2006.

- SÁ, Gilberto Fernandes de et al. *Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia (Documento-base/ PPA 2004-2007)*. 28 p., 2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2361.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf)>. Acesso em 18/07/2006.

## **CAPÍTULO 9: UM BALANÇO DA NANO NO BRASIL**

Nos Capítulos 5, 6 e 7, foram resumidas as principais atividades e resultados de Redes, Institutos do Milênio e Laboratórios Nacionais e Estratégicos em nanociência e nanotecnologia (N&N). Já no Capítulo 8, foram apresentadas cooperações do Brasil com outros países nessas áreas. As informações mostram que o Brasil já fez conquistas importantes em N&N. No Capítulo 4, contudo, demonstrou-se que as origens dessas conquistas são anteriores ao ano 2000 e, portanto, às ações oficiais dirigidas para N&N coordenadas pelo governo federal. Como visto no Capítulo 4, há pesquisadores que relatam contato com N&N desde o final da década de 70, embora, nessa época, o prefixo nano não fosse corriqueiro. Portanto, se o Brasil tem avançado em N&N, a explicação não pode se restringir aos investimentos governamentais específicos para essas áreas, até porque os recursos não são tantos assim. É preciso considerar que atividades, infra-estrutura e conhecimentos prévios em química, física, ciência dos materiais e biologia foram canalizados para N&N, áreas interdisciplinares, emergentes, atraentes e que aguçaram o senso de oportunidade do Brasil e de muitos outros países. Aliás, aproveitar a infra-estrutura e as competências prévias para desenvolver as áreas de N&N também não foi uma estratégia exclusiva do Brasil. Trata-se de uma prática disseminada. (ALVES, 2004)

### **9.1) LEVANTAMENTOS EM N&N**

No trabalho *Desenvolvimento Científico da Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (janeiro 1994 - julho 2004)*, Oswaldo Luiz Alves, do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), fez uma comparação entre o Brasil e outros 17 países. A escolha do período de tempo é um reconhecimento de que as atividades em N&N no Brasil são anteriores ao ano 2000. Contudo, como visto no Capítulo 3, mesmo antes de 1994 já havia pesquisadores brasileiros envolvidos nessas áreas, que eram chamadas por outros nomes. O trabalho de Alves consistiu em localizar artigos científicos em N&N na base de dados Web of Science do Institute for Scientific Information (ISI) e, para tal, o autor fez buscas a partir de 51 termos-chave, sendo que somente cinco deles não levavam o prefixo nano. Alves justifica a análise a partir de 1994 porque, nesse ano, "já se podia visualizar o início do desenvolvimento consistente da área de N&N, concomitantemente com uso de novos termos e/ou palavras utilizando o prefixo nano". (Ibid, p. 3)

Os 18 países analisados por Alves foram divididos em dois grupos: países-chave (Estados Unidos, Alemanha, Japão, França, Canadá, Reino Unido, Espanha, Suécia e Suíça) e países-competidores (Brasil, Índia, China, Austrália, Coreia, Cingapura, Israel, México e Taiwan). De 1994 a 2004, o grupo dos países-chave publicou cerca de três vezes mais artigos científicos em N&N do que o grupo dos países-competidores. Para ambos os

grupos, os termos mais freqüentes nos artigos foram nanocristal/nanocristalino, nanopartícula e nanoestruturas/nanoestruturado. "A atividade de pesquisa, em termos globais, está fortemente concentrada no campo da produção de nanopartículas e no uso destas na geração de novos materiais nanoestruturados". (Ibid, p. 7)

Ao longo dos dez anos analisados, entre os países-chave, os Estados Unidos publicaram o maior número de artigos científicos em N&N (21769), seguidos pelo Japão (10883). Os países da União Européia, juntos, ultrapassaram os Estados Unidos, com um total de 25325 publicações. De 1994 a 2002, ano com maior número de artigos, as publicações em N&N dos países-chaves cresceram 650%.

Entre os países-competidores, no período estudado, o destaque foi a China, seguida pela Coréia. O número de artigos científicos em N&N da China (em torno de 10100) é similar ao do Japão, 3,7 vezes maior que o da Coréia e 9,5 vezes superior ao do Brasil. Com 1066 trabalhos publicados de 1994 a 2004, o Brasil ocupa o quinto lugar no ranking dos países-competidores. Neste grupo de países, as publicações totais em N&N aumentaram 1500% de 1994 a 2002.

Considerando-se o Brasil isoladamente, ele subiu de 11 artigos em 1994 para 297 em 2002, o que significa um crescimento de 2700%. A China, por sua vez, passou de 141 publicações em 1994 para 2187 em 2002, o que representa um aumento de cerca de 1550%. Quanto às taxas de crescimento dos Estados Unidos e do Japão, elas ficaram em torno de 680% e 760%, respectivamente. Em outras palavras, Estados Unidos, Japão e China ocupam posições melhores, mas a taxa de crescimento do Brasil é mais acelerada, ao menos no quesito artigos científicos na base Web of Science do ISI. "Os dados mostraram que o Brasil apresenta pesquisa emergente e em franco crescimento em N&N, sendo a USP<sup>1</sup> e a Unicamp as universidades líderes, vindo em seguida a UnB e a UFMG." (Ibid, p. 22) Cabe destacar que a taxa de crescimento da Coréia é ainda maior que a do Brasil: em torno de 3920%.

No quesito N&N, o Brasil parece contar com a melhor base de recursos humanos e infra-estrutura da América Latina. (GONÇALVES DA SILVA, 2005) A expectativa é que, nos próximos 10 ou 15 anos, a nanotecnologia movimente um mercado de US\$ 1 trilhão, cabendo ao Brasil 1% desse faturamento. (ALVES, 2004, p. 2) O professor Oswaldo Luiz Alves (LQES/Unicamp) concluiu, em fevereiro de 2005, o *Mapeamento da Competência Nacional em Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (1994-2004)*. Nesse trabalho, ele realizou buscas em duas bases de dados: a Plataforma Lattes e a Web of Science do ISI. Na primeira, identificou bolsistas de produtividade e grupos de pesquisa do CNPq atuantes em N&N. Na segunda, identificou artigos científicos em N&N publicados por brasileiros entre 1994 e 2004. A partir das buscas, Alves localizou 1396 pesquisadores brasileiros em N&N. Eles atuavam em uma grande variedade de temáticas, sendo os termos

mais freqüentes nanoestruturas, nanopartículas e nanocompósitos. Outros temas significativos foram nanomateriais, quantum dots, nanotubos e nanobiotecnologia.

Entre os autores brasileiros de artigos científicos em N&N registrados na Web of Science da ISI, a maioria era da Unicamp, da USP e UFSCar. Em relação aos 174 grupos de pesquisa em N&N cadastrados na Plataforma Lattes, a maioria deles também era do Estado de São Paulo (42%), seguido por Rio de Janeiro (12%) e Minas Gerais (11%). Isso demonstra que, embora UFPE, UnB e UFRGS desempenhem papéis importantes em N&N, persiste uma concentração das atividades na região Sudeste. A região Norte é a que apresenta maior carência nessas áreas.

Além das consultas às bases de dados, cerca de 270 pesquisadores brasileiros em N&N responderam a um questionário e, entre eles, 26% eram mulheres e mais de 60% realizavam estudos experimentais. Foi perguntado aos pesquisadores se tinham orientações em andamento, o que permitiu contabilizar 564 alunos de iniciação científica, 372 de mestrado, 443 de doutorado e 156 de pós-doutorado. Isso significa mais 1535 pessoas estudando N&N, além dos 1396 pesquisadores localizados inicialmente. Contudo, a formação de recursos humanos ainda é considerada um ponto crítico em N&N no país, como será discutido a seguir.

Também foi perguntado aos pesquisadores para quais segmentos do setor produtivo seus trabalhos poderiam trazer impactos. Os três mais citados foram eletrônica, energia e semicondutores.

“Os resultados mostram uma alta aderência não só com a Política Industrial (semicondutores, eletrônica), mas também com políticas públicas (energia, meio ambiente, fármacos, saúde, alimentação) e setores nos quais o Brasil apresenta alta competitividade, entre eles o setor químico e o petroquímico.”  
(ALVES, 2005, p. 20)

Assim, em fevereiro de 2005, o levantamento conduzido por Alves mostrou que, no Brasil, dentro das N&N, uma variedade de temáticas vinha sendo abordada e os pesquisadores, de alguma forma, reconheciam a aplicabilidade de seus trabalhos em setores reconhecidamente estratégicos no mundo contemporâneo.

## 9.2) PARA ONDE VAMOS?

Todas as informações compiladas nesta dissertação mostram que, de fato, há grupos trabalhando com N&N no Brasil. Mas para onde as N&N brasileiras caminham? O mais provável é que elas caminhem para onde estiverem os investimentos, de modo que é preciso decidir quais áreas serão alvo de recursos. Para subsidiar essa tomada de decisão, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), a pedido do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), realizou uma *Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia*, de fevereiro a maio de 2005. O objetivo era justamente identificar os tópicos prioritários para

investimentos no Brasil, com base nos critérios de relevância, competitividade e oportunidade.

Os participantes da consulta foram, em sua maioria, representantes da academia, sobretudo pesquisadores das áreas de física, engenharia e química. Contudo, também havia outros perfis, como representantes de empresas, governo e terceiro setor. Composta por duas etapas, a consulta contou com 582 participantes na primeira e 307 na segunda.

“Os resultados obtidos indicam que há certa clareza por parte dos respondentes de que ‘a fabricação de produtos químicos, incluindo fármacos’ é o setor que mais sofrerá impactos dos desenvolvimentos das N&N, com o maior número de ocorrências nos próximos 5 anos.” (GONÇALVES DA SILVA, 2005, p. 25)

A Consulta NanoDelphi teve múltiplas facetas, mas, basicamente, os tópicos tecnológicos selecionados, com relativo consenso, foram (em ordem alfabética): armazenamento de energia; catálise; células a combustível; DNA e terapia gênica; encapsulamento de fármacos; materiais nanoestruturados para a área farmacêutica, veterinária e cosmetológica; materiais nanoestruturados, biocompatíveis; monitoramento ambiental; nanoeletrônica, materiais e dispositivos; nano-sensores para avaliação de qualidade de alimentos; nano-sensores para detectar toxinas e patógenos de plantas; produção, armazenamento e conversão de hidrogênio; recuperação ambiental; sistemas de liberação de fármacos, medicamentos e reconhecimento molecular; tratamento de água; e tratamento de esgoto e efluentes industriais. Tópicos semelhantes foram destacados por 63 especialistas mundiais que identificaram as áreas mais promissoras da nanotecnologia em países em desenvolvimento. (SALAMANCA-BUENTELLO et al, 2005)

Em resumo, em se tratando de nanotecnologia, as temáticas consideradas prioritárias para o Brasil são similares àquelas apontadas como as mais promissoras por especialistas mundiais. E essas temáticas, em alguma medida, são contempladas pelas redes criadas em 2005 (BrasilNano), pelas redes que existiam anteriormente, pelos Institutos do Milênio e pelos projetos selecionados em diferentes editais relativos às N&N. Uma amostragem desses projetos é apresentada na Tabela 2 e na Tabela 3.

A análise das Tabelas 2 e 3 mostra não só as conquistas, mas também as dificuldades dos projetos. Os obstáculos incluem recursos limitados; atraso na liberação do dinheiro; complicação no estabelecimento do convênio universidade-empresa; carência de recursos humanos; dificuldade das instituições para dividir o trabalho, os recursos e os resultados; problemas de relacionamento pessoal entre pesquisadores; percalços quanto à infra-estrutura dos laboratórios; falta de espaço físico para a instalação de novos laboratórios na universidade; e demora na importação de equipamentos e materiais.

### 9.3) O BRASIL E A INOVAÇÃO

Muitos dos projetos descritos nas Tabelas 2 e 3 estão relacionados a produtos, processos, patentes e parcerias com empresas. Isso porque são projetos selecionados em editais de N&N voltados, por exemplo, ao desenvolvimento tecnológico, à inovação, à cooperação entre instituições de pesquisa e o setor produtivo, às incubadoras de empresas etc. Esses editais demonstram a intenção do governo federal de fortalecer a tríade pesquisa/desenvolvimento tecnológico/ inovação, com o intuito de promover o desenvolvimento industrial e econômico do país.

Nesse sentido, por exemplo, no âmbito da Finep/MCT, existem programas de apoio à cooperação entre instituições científicas e tecnológicas e empresas. Destacam-se, também, o Pape (Programa de Apoio à Pesquisa em Empresas); o PNI (Programa Nacional de Incubadoras e Parques Tecnológicos); o Pró-Inovação (Programa de Incentivo à Inovação nas Empresas Brasileiras); o Inovar & Inovar Semente (programas de incentivo ao capital empreendedor); e o Juro Zero (financiamento ágil e com burocracia reduzida para pequenas empresas inovadoras). (AROUCA, 2006b)

Em 2001, a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação constatou a necessidade de incentivar a inovação nas empresas. A ênfase na inovação é marca registrada da atual Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). Neste contexto, cabe citar a Lei de Inovação e a Lei do Bem.

"A lei 10.973/04, ou Lei de Inovação, sancionada pelo Presidente da República em 2 de dezembro de 2004 e regulamentada pelo decreto 5.563 de 11 de outubro de 2005, estabelece novo marco para a relação entre universidades e institutos de pesquisa públicos e empresas privadas, além de possibilitar ação mais positiva do Estado no apoio à inovação empresarial, pelo instrumento da subvenção econômica a empresas para desenvolvimento tecnológico e pela possibilidade de compras tecnológicas pelo Estado. A lei permite, por exemplo, o investimento público em empresas privadas e cria estímulos para que as empresas contratem pesquisadores para seus quadros ou para que pesquisadores constituam empresa para desenvolver atividades relativas à inovação. A lei é essencial para que as empresas sejam mais competitivas e capazes de agregar mais valor aos seus produtos. A lei 11.196, de 21/11/2005, ou Lei do Bem, estabelece um conjunto de instrumentos para apoio à inovação na empresa. Esses instrumentos reduzem o custo e o risco da inovação na grande empresa, ou melhor dizendo, naquelas com sistema de apuração de lucro real, através de incentivos fiscais." (PITCE 2 anos, 2006)

Contudo, a preocupação de incentivar a inovação nas empresas e aproximá-las das universidades e demais instituições de pesquisa é relativamente recente. O Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de 1976 tinha pouca conexão com a indústria. (AROUCA, 2006a) Aliás, durante muito tempo, a Política de Ciência e Tecnologia e a Política Industrial estiveram dissociadas, o que resultou em um reduzido número de empresas com atividades de pesquisa e desenvolvimento. Então, o que o governo federal propõe, hoje, é uma espécie de mudança cultural, baseada naquela tríade pesquisar/

desenvolver/ inovar. A idéia é que o setor industrial brasileiro, em vez de comprar tecnologias já prontas, invista em novas tecnologias nacionais, desenvolvidas com a participação de peso das universidades e outras instituições de pesquisa.

#### **9.4) DISCURSO PRÓ-INOVAÇÃO NANOTECNOLÓGICA**

De uns tempos para cá, o Estado brasileiro tem sido insistente com seu discurso pró-inovação, especialmente em nanotecnologia, e isso começa a contagiar universidades e demais instituições de pesquisa. Ao menos no discurso, pesquisadores que atuam em N&N estão colocando a inovação como alvo. As Tabelas 2 e 3 trazem exemplos emblemáticos. Um projeto da UFMG tem como objetivo entender melhor os mecanismos de doenças inflamatórias agudas, com o intuito de propor novas estratégias terapêuticas. Já a UFRJ tem um projeto que investiga efeitos de materiais magnéticos visando à economia de energia e ao uso de tecnologia limpa. Esses dois projetos, propostos por recém-doutores, envolvem estudos básicos que almejam a aplicabilidade.

Outro exemplo do gênero vem da Rede Brasileira de Nanobiomagnetismo, focada em pesquisa e desenvolvimento de materiais magnéticos nanoestruturados voltados para aplicações biológicas e biomédicas, em temas como marcação celular, câncer, Pb-micose e epilepsia. "Procuramos desenvolver o nosso trabalho no sentido de ligar desde a pesquisa mais básica até o consumidor. Veja, estou falando do consumidor", frisou Paulo Cesar de Moraes, coordenador da Rede (por e-mail, 02/03/2007).

"O exemplo mais claro disto foi a inauguração do serviço de tratamento de câncer de pele no Hospital Regional da Asa Norte, em Brasília, em outubro do ano passado [2006]. A nossa equipe está à frente deste serviço, preparando-o para que seja, no futuro breve, o nosso ambiente de testes clínicos de sistemas magnéticos nanoestruturados pesquisados e desenvolvidos no âmbito da Rede. Temos duas empresas privadas que fazem parte da Rede, prontas para absorver a tecnologia desenvolvida no âmbito da mesma. [...] Portanto, tenho que avaliar que a nossa Rede está cumprindo a premissa fundamental que norteou a criação deste programa com recursos públicos." (MORAIS, 2007)

Em tempo: a Rede Brasileira de Nanobiomagnetismo integra a Rede BrasilNano, um dos elementos do programa brasileiro de nanotecnologia, no âmbito da PITCE. Este dado aponta como o governo federal tem procurado associar o desenvolvimento da nanotecnologia ao desenvolvimento da indústria. Tanto é que, no primeiro conselho diretor da Rede BrasilNano, havia pesquisadores brasileiros e estrangeiros, bem como representantes do governo e de empresas.

Ao mesmo tempo em que os discursos se mostram favoráveis à inovação, particularmente em nanotecnologia, reclama-se que o Brasil não tem tradição como um país inovador. Contudo, apesar das dificuldades, a atividade de inovação no país já produziu frutos importantes em diferentes áreas, como o álcool combustível, as eleições eletrônicas e

a extração de petróleo em águas profundas. Por outro lado, embora existam bons exemplos e tentativas de inovação, esta ainda encontra uma série de barreiras no país. Muitos pesquisadores não têm o hábito de ler patentes, de modo que podem estar gerando um conhecimento que já existe e já tem dono. Além disso, uma forma de se avaliar o pesquisador se baseia na quantidade de artigos científicos por ele publicados em periódicos de impacto. Assim, exige-se que o cientista divulgue seus resultados, o que contraria o princípio do sigilo industrial. (GALEMBECK, 2006a) Essas são questões que podem atrapalhar a interação entre pesquisadores e empresários.

### **9.5) NANO: O BRASIL E O MUNDO**

Um grande desafio é unir empresários, engenheiros e cientistas com o propósito de desenvolver um produto brasileiro competitivo no mercado, inclusive internacionalmente. Para vencer tal desafio, o primeiro passo é definir que tipo de produto será desenvolvido. Neste sentido, produtos de base nanotecnológica parecem atrativos atualmente. Isso porque a nanotecnologia é considerada algo relativamente novo para todos os países, de modo que haveria menos discrepâncias entre eles.

No entanto, nem todos os pesquisadores são tão otimistas quanto à posição da nanotecnologia brasileira no cenário mundial. Embora reconheça que há alguns grupos com resultados bastante interessantes, inclusive no contexto internacional, e que o potencial brasileiro é grande, Jacobus Swart (Unicamp) afirma que "o país tem poucos especialistas na área e poucos recursos investidos. Conseqüentemente, o Brasil está muito atrasado em relação a outros países" (por e-mail, 06/03/2007). Também na visão de Israel Baumvol (UFRGS), a realidade das N&N no Brasil permanece distante da de outros países. "Obtivemos resultados excepcionais para os recursos disponíveis, mas esse contexto local é muito distante do que acontece no Japão, na Coréia", disse ele (por telefone, em 30/10/2006), referindo-se aos resultados da Rede de Pesquisa em Materiais Nanoestruturados, da qual foi coordenador.

Por outro lado, há pesquisadores mais confiantes na competitividade brasileira, como Oswaldo Luiz Alves (Unicamp):

"Temos um número importante de pesquisadores, em todos os estágios da carreira docente, atuando nos mais diferentes aspectos da nanotecnologia. As principais universidades do país estão com pesquisas importantes sendo realizadas e temos um parque industrial bastante competente. O destaque aqui fica para as atividades em nanobiotecnologia e materiais nanoestruturados (nanopartículas, nanocompósitos e nanotubos de carbono). Tais atividades acompanham a tendência mundial da área." (por e-mail, 12/03/2007)

Paulo Cesar de Moraes (UnB) sublinhou que, apesar dos recursos limitados, a comunidade científica brasileira tem demonstrado vitalidade e competência na nanoescala.

Morais disse que, em fluidos magnéticos, tema tipicamente do domínio das N&N, Brasil e Alemanha atingiram níveis semelhantes, embora o país europeu tenha contado com um volume de recursos significativamente maior.

"Há seis anos, o governo alemão lançou um programa de financiamento para pesquisas em fluidos magnéticos, um programa de cinco anos com 20 milhões de Euros. A iniciativa privada na Alemanha aportou uma contrapartida de igual volume. Os resultados alcançados, no mesmo período, pelos dois países, foram comparáveis, conforme o relatório divulgado pelos alemães." (MORAIS, por e-mail, 02/03/2007)

Belita Koiller (UFRJ), que realiza estudos teóricos sobre um possível suporte físico para a computação quântica<sup>2</sup>, justifica a motivação pelo tema porque ele é de fronteira e "o Brasil está em igualdade de condições com outros países; ainda não tem patente, não tem dono" (presencialmente, 06/11/2006). Já Petrus Santa-Cruz (UFPE), ao participar de eventos no exterior, diz ter confirmado sua opinião favorável:

"Já perdemos o bonde da microeletrônica. Com a nanoeletrônica<sup>3</sup>, ainda não existe esse *gap* [lacuna]: se houver investimento, o Brasil fica no mesmo nível internacional. Estive recentemente na Escócia e Suíça, onde apresentei o único dispositivo OLED existente para a área médica. Vi que o Brasil está no mesmo nível dos outros países." (por telefone, 06/03/2007)

Opinião semelhante é a do coordenador-geral de Micro e Nanotecnologia, Alfredo de Souza Mendes (MCT). "Por que os estrangeiros querem se associar conosco, em cooperações internacionais de nanotecnologia? Porque somos bons nisso, já temos resultados significativos", afirmou (por telefone, 29/12/2006). Químico especializado em tecnologia florestal, ele se diz familiarizado com transformar conhecimento em produto e, portanto, considera-se apto a contribuir para a gestão da nanotecnologia no país. Isso demonstra como a nanotecnologia no Brasil tem sido vista como um instrumento importante para promover a inovação e, conseqüentemente, o desenvolvimento industrial e econômico. Mas essa visão sobre a nanotecnologia não é exclusiva do Estado brasileiro. Outros países têm adotado postura similar.

"Todos os países inovadores têm programas em nanotecnologia, que é uma das principais áreas do fomento à P&D&I [pesquisa, desenvolvimento e inovação], ao lado da biotecnologia, tecnologias da informação e meio ambiente. [...] Os programas estão fortemente vinculados às estratégias nacionais de competitividade e desenvolvimento econômico. [...] Todos têm alvos econômicos definidos, compatíveis com as características da produção industrial do país." (GALEMBECK; RIPPEL, 2004, p. 4)

Em tese, a nanotecnologia pode ser aplicada a qualquer setor da economia. "Não existe uma 'indústria de nanotecnologia', análoga às indústrias têxtil, automobilística, siderúrgica, eletrônica etc. [...] A nanotecnologia é pervasiva, ela interessa a todos os setores da economia, incluindo agricultura, extração mineral, indústria e serviços." (Ibid, p. 84) Em todo o mundo, em diversos segmentos da indústria, novos produtos e processos de base nanotecnológica estão sendo criados, enquanto outros produtos e processos hoje no

mercado correm o risco de se tornar obsoletos rapidamente. É esse risco potencial que coloca governos e empresários em alerta quando o assunto é nanotecnologia.

### 9.6) O QUE PENSAM OS PESQUISADORES

Fernando Galembeck (Unicamp), apontado como *expert* em interação universidade-empresa, define qual nanotecnologia o Brasil precisa desenvolver. Segundo ele, trata-se de uma nanotecnologia que apóie "atividades nas quais o Brasil tem (ou pode ter) competitividade ou supremacia" (exemplo: combustível de fontes renováveis); que satisfaça "necessidades locais que não são atendidas por fornecedores internacionais de tecnologia" (exemplo: doenças localmente importantes); e que torne o país competitivo em "áreas na qual hoje somos dependentes" (exemplo: eletrônica). (GALEMBECK, 2006b)

Para que o Brasil efetivamente desenvolva a nanotecnologia da qual ele precisa, faz-se necessário transpor algumas barreiras. De acordo com Galembeck, grande parte da ciência que vem sendo feita nas universidades e demais instituições de pesquisa do país é um "tributo à irrelevância", isto é, estuda-se o que é de interesse do cientista, muitas vezes em detrimento do que é de interesse estratégico para o setor produtivo nacional. Outra questão é que "o sistema brasileiro de C&T é dirigido por pessoas que falam sobre inovação mas pouco fizeram". (GALEMBECK, 2006a)

No entanto, em entrevista concedida à autora desta dissertação, Galembeck disse que prefere não enfatizar as dificuldades da inovação, mas sim pensar no que é necessário para ela acontecer. Segundo o pesquisador da Unicamp, se a inovação não acontece, não é por causa das dificuldades, mas sim por causa da falta de esforço. Para Galembeck, o principal requisito para a inovação ocorrer é o diálogo entre as partes – universidades e empresas:

"Precisa-se de convívio, contato, conhecimento mútuo e disposição para trabalhar junto entre as pessoas das universidades e as pessoas das empresas. As pessoas que ocupam posições de decisão nas empresas saíram das universidades. Portanto, se existir mesmo um conflito entre universidades e empresas, esse conflito é, na verdade, entre as universidades e seus filhos. Se existir mesmo um conflito, então, isso mostra que a universidade não foi capaz de criar uma postura de respeito por ela mesma." (por telefone, 06/03/2007)

O pesquisador da Unicamp sugere que esse conflito seria mais uma desculpa de alguns do que um obstáculo real. Na visão de Galembeck, não há desinteresse das empresas brasileiras por inovação, ou melhor, enquanto há desinteresse por parte de algumas empresas, outras estão muito interessadas:

"Falta no país, dramaticamente, pensamento estratégico, por parte das instituições de ensino e pesquisa, das empresas e, principalmente, do governo. A maior parte do que se faz em nanotecnologia no Brasil não tem nada a ver com o governo. O governo, por exemplo, não está envolvido nas principais iniciativas de nanotecnologia hoje em andamento: na Braskem; na

Suzano; e o Biphor<sup>4</sup>. No caso do Biphor, o investimento do governo foi zero.” (por telefone, 06/03/2007)

Galembeck – que além do Biphor, tem projetos com outras empresas, como a Oxiteno (grande petroquímica), as Indústrias Químicas Taubaté (médio porte) e a Orbys (incubada) – critica o fato de pesquisadores brasileiros desenvolverem produtos sem saber qual a real demanda do mercado e aponta falhas na gestão governamental da nanotecnologia:

“Em 2003, participei da elaboração do documento-base do programa de nanotecnologia para o PPA 2004-2007. O governo não seguiu esse documento nem explicou por que não seguiu. Prova de que não seguiu é que o documento falava, claramente, em forte participação e protagonismo da indústria. [...] Mais tarde, em 2005, o governo lançou outro programa de nanotecnologia e manteve o mesmo documento que tínhamos elaborado. É assim: você tem um filho e o apresenta como Alberto; passa um tempo e você reapresenta o mesmo filho, só que agora ele se chama Francisco. Isso não é honesto. E foi o que o governo fez. Não conseguiram produzir outro documento. No Brasil, fala-se muito e faz-se pouco.” (por telefone, 06/03/2007)

Embora, em alguns pontos, sua visão se aproxime da de Galembeck, Oswaldo Alves (Unicamp) – cujo grupo de pesquisa também realiza projetos ligados a indústrias – tem um discurso mais suave, menos radical:

“A relação entre o setor produtivo e a academia tem melhorado bastante nos últimos anos. É importante enfatizar que temos bons instrumentos para vencermos as dificuldades deste relacionamento. Uma melhor articulação passa pelo diálogo constante entre as partes envolvidas. Muitas universidades brasileiras estão se aparelhando para exercer este papel no qual – não podemos esquecer – têm relevância as questões ligadas à propriedade intelectual e à cultura de patentes. Não obstante a nanotecnologia ter sido colocada na Política Industrial como uma das tecnologias portadoras de futuro, observamos uma certa lentidão, por parte dos órgãos governamentais, nas tomadas de decisões e na vontade expressa de fazer com que ela ocupe o *status* que tem no documento de Política Industrial. Podemos e, sobretudo, devemos ser mais céleres. Outro aspecto que gostaríamos de enfatizar é que não podemos perder de vista que a nanotecnologia pode também ser uma oportunidade singular para o desenvolvimento do país. A nanotecnologia pode auxiliar na solução de problemas que afetam diretamente nossos cidadãos: remediação ambiental, purificação de água, remoção dos contaminantes, melhoria e fertilidade dos solos, construção de kits de diagnóstico para doenças infecciosas e endêmicas, novas formulações de medicamentos e veículos para sua liberação, novas formas de energia, entre outros.” (por e-mail, 12/03/2007)

Já Petrus Santa-Cruz (UFPE) – que está à frente da empresa incubada Ponto Quântico e é coordenador de inovação da rede de nanotecnologia Renami – vê a falta de investimento das empresas em inovação como um entrave ao desenvolvimento da nanotecnologia no país:

“No Brasil, empresários não arriscam. Compram tecnologia já pronta, para lucro rápido. É uma estratégia perversa, que causa vulnerabilidade para o país. Não se pode ficar dependente de tecnologias estratégicas. [...] Não incubei uma empresa. Incubei alunos, futuros empresários que pensem diferente. A vocação da Ponto Quântico não é produzir. É uma empresa

vitrine para as teses/patentes dos alunos que oriento. Temos uma linha de montagem em pequena escala. O aumento da escala fica por conta das empresas maiores - e aqui pesa a Lei de Inovação. Três produtos estão em negociação com empresas. Os produtos são, principalmente, para meio ambiente e saúde. (por telefone, 06/03/2007)

Israel Baumvol (UFRGS), por sua vez, reclama da falta de um contexto industrial para absorver a produção científica da Rede Nanomat:

"Não há no Brasil indústria de componentes eletrônicos. Custa caro correr atrás do prejuízo, mas é preciso correr, plantar um embrião tecnológico. Senão, daqui a dez anos, vai ser mais caro ainda. Dez anos atrás, era mais barato. Nas áreas de fronteira da nano, o Brasil não tem indústria. Nas áreas mais convencionais, tem." (por telefone, 30/10/2006)

Mais recentemente, Baumvol começou a trabalhar com nanotecnologia voltada a revestimentos protetores, para, por exemplo, tornar uma superfície mais resistente e durável. Segundo o pesquisador, a motivação é a existência de indústrias que possam vir a absorver os conhecimentos gerados.

Marcelo Knobel (Unicamp) concorda que as empresas não investem como deveriam em pesquisa aplicada:

"Avanços na área de filmes finos, nanotubos de carbono e semicondutores nanoscópicos são impressionantes. O Brasil, apesar das enormes dificuldades de financiamento, tem realizado excelentes pesquisas na área básica de investigação, pois tem uma infra-estrutura razoável já estabelecida, e uma boa quantidade de pesquisadores. Entretanto, na área de nanotecnologia, assim como na tecnologia em geral, o Brasil vai muito mal, pois as empresas não investem em pesquisa aplicada. Temos potencial para avançar muito, mas seria necessária uma mudança de atitude radical para mudar o cenário, pois senão ficaremos mais uma vez defasados nessa área tão importante." (por e-mail, 02/03/2007)

Induzir mudanças junto à iniciativa privada foi um desafio abraçado por Henrique Toma (USP), que, por meio de consultorias e visitas, incentivou a criação de empregos e oportunidades:

"Sempre fui muito ativo em atividades de divulgação, por meio de palestras e entrevistas, principalmente voltadas para o setor acadêmico, centradas em aspectos das nanociências. Aos poucos, essas atividades foram crescendo, catalisadas pelo interesse despertado nas empresas pela nanotecnologia. Em 2004, foi formada a rede USP de Nanotecnologia, coordenada pela Pró-Reitoria de Pesquisa. Um dos objetivos era chegar até o setor empresarial e, por isso, quase a metade dos participantes dessa rede estava ligada à iniciativa privada, fora da academia. [...] Impulsionado pela rede, passei a dar conferência quase todas as semanas, visitando empresas, sindicatos, câmaras de comércio e associações profissionais. Isso fortaleceu uma iniciativa empresarial, que culminou com a realização da Nanotec Expo 2005, em São Paulo, que reuniu mais de 3.000 participantes de todos os setores. Esse evento foi repetido com enorme sucesso em 2006, com mais de 4.500 participantes." (por e-mail, 12/03/2007)

Toma percebeu uma certa transformação após a Nanotec Expo 2006:

"A procura pelo setor privado cresceu bastante e, de repente, nos vimos sem qualquer possibilidade de atuar nos moldes tradicionais da atividade

acadêmica. A única forma de fazer frente a esse desafio foi direcionar os alunos em final de tese para atividades empreendedoras, por meio da criação de empresas *spin-off*<sup>6</sup>. Atualmente, quatro dos nossos alunos já estão constituindo empresas de nanotecnologia, e começam a atuar com boas perspectivas de sucesso, pautadas na inovação. Os problemas legais encontrados na interface universidade-empresa ainda continuam imensos, apesar de todo o trabalho em torno da Lei de Inovação e Patentes. Na minha visão pessoal, será muito difícil atuar de forma competitiva ou eficiente nessa interface, sem a devida articulação, principalmente com as *spin-offs*. Mas estou certo de que elas conseguirão transformar em produtos as idéias, que, no âmbito acadêmico, sempre careceram de reconhecimento ou de valorização", explicou. Toma lembrou que, no Brasil, menos de 10% dos doutores estão nas empresas, sendo que esse percentual chega a 90% nos países desenvolvidos. "O imediatismo é outro grande problema que enfrentamos, tanto no governo como no setor empresarial. Estamos sempre em busca de soluções miraculosas, de rápida implementação e baixo custo, com pouco investimento instrumental e humano." (por e-mail, 12/03/2007)

Assim como Knobel, Cylon Gonçalves da Silva (Instituto Genius) é da opinião de que a pesquisa em nanotecnologia vai bem, mas a inovação nessa área poderia ir muito melhor e falta envolvimento das empresas:

"O Brasil tem uma muito boa infra-estrutura de pesquisa em nanotecnologia e conta com bons grupos de pesquisa, em muitas das áreas relevantes, alguns de qualidade internacional. Mas falta a demanda do mercado por inovação (nano)tecnológica, que contribui, em outros países, para dar foco à pesquisa. Esta demanda (eu diria este contato com a realidade) evita que a pesquisa em outros países fique à deriva. O pesquisador pode ver a trajetória de uma idéia do laboratório até o mercado, mesmo que não seja ele o responsável por todas as etapas. Estamos apenas começando no Brasil." (por e-mail, 06/03/2007)

A necessidade de dar um foco à pesquisa em nanotecnologia é uma questão abordada por alguns pesquisadores, como Anderson Gomes (UFPE):

"As tendências são positivas. O Brasil está oficialmente no mapa dos países com programas de nanociências e nanotecnologias. Tem um excelente reconhecimento da comunidade científica internacional e o principal mérito é a competência dos pesquisadores que trabalham individualmente ou em rede. O volume de recursos sempre é pouco, mas percentualmente tem crescido numa taxa razoável. As principais dificuldades estão relacionadas a uma melhor coordenação do programa atual, pois o tema induziu um crescimento razoável e, se não houver uma coordenação, o país irá se perder na sua atuação do tema, ficando somente os pesquisadores tocando suas pesquisas. [...] Este é um momento de redefinição de prioridades para o setor, a partir da qual os investimentos devem ser canalizados, [...] tendo uma prioridade bastante clara de onde se quer chegar." (por e-mail, 03/11/2006)

Elson Longo (Unesp), cujo Currículo Lattes revela parcerias com empresas como Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), White Martins, Tecnident, Angelus, Nanox e Togni Refratários – também é da opinião de que é necessário refletir sobre os rumos da nanotecnologia no Brasil:

"Numa avaliação global, não estão bem definidos os investimentos dos órgãos financeiros para nanotecnologia, principalmente interação entre universidade e empresa. Faz-se necessário um estudo das necessidades mais urgentes do país para se fazer um investimento seguro e com resultados para a sociedade brasileira." (por e-mail, 30/11/2006)

Entretanto, dar um foco à pesquisa em nanotecnologia requer ações bem definidas e coordenadas, conforme avalia Jacobus Swart (Unicamp):

"Falta ao país uma política objetiva e sua implementação. Por enquanto, só vimos muito discurso e pouca ação. O país não se mostrou atraente para atividades industriais na área até o momento. [...] O pesquisador ou engenheiro no país custa menos que no primeiro mundo. Isto pode ser usado como incentivo ao desenvolvimento de tecnologias no país. No entanto, há muitas barreiras ainda, incluindo excesso de burocracia. Exemplo: uma empresa se ofereceu para doar um equipamento para nosso laboratório; ao final, ela desistiu, devido às dificuldades burocráticas." (por e-mail, 06/03/2007)

À frente da Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias, Alfredo de Souza Mendes (MCT) resumiu a trajetória da política brasileira de nanotecnologia. Segundo ele, o PPA 2000-2003 já tinha alguma coisa sobre nanotecnologia, mas algo frágil, fora de um programa e com pouco dinheiro. Em 2003, um Grupo de Trabalho produziu um documento-base que norteou o programa de nanotecnologia operacionalizado dentro do PPA 2004-2007. "Para 2006, o PPA sofreu alterações. O título nano sumiu, mas as ações para a área continuaram. O foco maior passou a ser a PITCE", afirmou Mendes (por telefone, 29/12/2006). Ele lembrou também que aquele Grupo de Trabalho, reunido em 2003, fez um orçamento bem maior, porém só foram liberados R\$ 77 milhões. "Embora limitado, esse dinheiro possibilitou uma abertura para o avanço. Recursos financeiros e humanos e infraestrutura são escassos, mas podem ser compartilhados, de modo que se faça mais com menos. Este é o princípio das redes", justificou.

Mendes acredita que o programa brasileiro de nanotecnologia está começando a ficar mais robusto, com o envolvimento de outros ministérios além do MCT, porém reconhece que é preciso definir melhor um foco nessa área:

"Queremos criar um grupo de trabalho mais participativo, com funções consultivas, para opinar e dar sugestões, com representantes das várias especialidades. É preciso definir os nichos, para extrair resultados de interesse competitivo. Caso contrário, o crescimento vai ser a reboque. Temos pouco dinheiro, mas muita criatividade. Só que ainda somos poucos. É preciso formar mais recursos humanos." (por telefone, 29/12/2006)

## 9.7) AS REDES

As atividades de N&N no Brasil têm sido organizadas, basicamente, em redes. Apesar das ressalvas que certos pesquisadores fazem à gestão das N&N, a formação das redes é relativamente bem vista por muitos. De modo geral, elas são encaradas como uma boa alternativa para contornar o problema dos recursos limitados e aproveitar a infraestrutura de pesquisa pré-existente no país. O próprio coordenador-geral de Micro e Nanotecnologias, Alfredo de Souza Mendes (MCT), admite que as redes permitem fazer mais com menos. Contudo, as redes também têm tido seus percalços. Administrar uma rede

que envolve numerosas instituições e profissionais de diferentes disciplinas não é uma tarefa trivial.

Atual coordenador da Rede de Nanofotônica, Anderson Gomes (UFPE) tem uma opinião positiva em relação ao Edital CNPq Nano nº 01/2001, que formou as quatro primeiras Redes Cooperativas de Pesquisa Básica e Aplicada em Nanociência e Nanotecnologia:

"A formação destas redes resultou em um trabalho coordenado com a participação de centenas de estudantes e pesquisadores. O tema nanociência e nanotecnologia passou a fazer parte da agenda do MCT, do MDIC [Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior], da própria presidência da República e da mídia." (por e-mail, 03/11/2006)

Nelson Duran (Unicamp), que coordenou a Rede de Nanobiotecnologia, criada pelo edital de 2001, mostra-se satisfeito com os resultados.

"O edital de 2001 veio no tempo certo. A Nanobiotec foi um trabalho de gigante. Ela uniu três grupos distintos, porque não havia recursos para formar três redes separadas. O contato com grupos diferentes é muito produtivo. Hoje, faço parte da Rede de Nanotubos de Carbono. Ela é nova. Há muitas redes novas. É uma tendência e isso é positivo no compartilhamento de infra-estrutura, especialmente em nano, que requer coisas sofisticadas. Em quatro anos, a Nanobiotec teve resultados impactantes em produtividade, eficiência, recursos humanos e patentes - alguns grupos da rede nunca haviam pensado em patente e temos parceria com a indústria em execução." (por telefone, 27/11/2006)

Israel Baumvol (UFRGS), que coordenou a Rede Nanomat, também criada pelo edital de 2001, reconhece que a iniciativa trouxe resultados positivos, mas reclama da limitação de recursos e do gerenciamento:

"No Brasil, a formação de redes teve dois motivos. O motivo nobre foi fomentar a cooperação entre instituições e pesquisadores. O motivo plebeu foi distribuir pouco dinheiro para muitos grupos de pesquisa. Na Rede de Pesquisa em Materiais Nanoestruturados, éramos uns 200 pesquisadores. A administração foi amadora. O auxílio foi individual: o dinheiro foi depositado numa conta minha pessoal e eu tinha que distribuí-lo, usando simplesmente o bom senso. Foi inevitável a divisão em sub-redes. Nanofotônica, por exemplo, é completamente diferente do que eu faço. Para tentar integrar tudo isso, fazíamos workshops, reuniões. Seja como for, a produção científica na área cresceu enormemente. Não me refiro ao número de artigos, mas ao impacto deles." (por telefone, 30/10/2006)

Além de ter sido coordenador da Nanomat, Baumvol envolveu-se com Institutos do Milênio e com a Rede de Revestimentos Nanoestruturados. O Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES), do qual Oswaldo Alves (Unicamp) é coordenador científico, também integra diversas redes de nanotecnologia:

"Em nosso caso, o trabalho em rede tem sido bastante interessante, sobretudo porque trabalhamos com várias delas, dada a variedade das temáticas que estudamos. Tem havido muita sinergia em nossas interações com os diferentes grupos das diferentes redes. Por outro lado, do ponto de vista geral, ainda existem dificuldades nas atividades em rede, sobretudo porque este é um tipo de organização da pesquisa que pressupõe uma forte vontade de interagir com outros grupos e de efetivamente trabalhar dentro

de uma perspectiva multidisciplinar. Resumindo, as pessoas pertencem há várias disciplinas, mas são ainda poucos os projetos efetivamente multidisciplinares. De qualquer maneira, as redes têm propiciado muito auto-conhecimento, identificação de competências e utilização compartilhada de instrumentos de grande porte. Ainda há muito por aprender e fazer neste tipo de organização da pesquisa." (ALVES, por e-mail, 12/03/2007)

Coordenador de inovação da Renami, Petrus Santa-Cruz (UFPE) aprova a forma como o governo tem conduzido suas ações na área de N&N, sobretudo nos quesitos formação de redes de pesquisa e fortalecimento de competências regionais. "O insucesso da microeletrônica no Brasil não vai se repetir com a nanotecnologia, exceto se houver descontinuidade das ações. O governo vem fazendo uma gestão brilhante da nanotecnologia", afirmou o professor da UFPE (por telefone, 06/03/2007). Santa-Cruz admite que já houve ao menos uma descontinuidade, em 2005, quando três das quatro redes do Edital CNPq Nano nº 01/2001 terminaram. Somente a Renami continuou e nove outras foram formadas pelo Edital MCT/CNPq 29/2005. "Mas as três redes que terminaram, de certa forma, estão inseridas nas novas redes criadas", ponderou. Em contrapartida, Eronides Silva (UFPE), que coordenou a Rede NanoSemiMat, extinta em 2005, resumiu sua avaliação acerca das iniciativas brasileiras em N&N dizendo que elas são "muito irregulares e sem continuidade" (por e-mail, 31/10/2006).

### 9.8) UM CENTRO NACIONAL?

Para Petrus Santa-Cruz (UFPE), o governo federal acertou com a estratégia de redes cooperativas, fortalecendo competências regionais e laboratórios temáticos, em detrimento de um centro nacional de nanotecnologia, como chegou a ser cogitado. Segundo ele, um laboratório nacional iria desestruturar as redes e isso seria muito ruim. "As redes aproveitam a infra-estrutura pré-existente, só que com enfoque em nano. Um laboratório nacional iria requerer muito mais investimento e concentraria os recursos, acentuando desigualdades regionais", justificou (por telefone, 06/03/2007).

Cylon Gonçalves da Silva (Instituto Genius) esteve à frente dos estudos acerca da implantação de um centro nacional de nanotecnologia, que seria inspirado no modelo do LNLS, e lamenta que a proposta não tenha sido levada adiante:

"Esta discussão ocorreu no final do governo FHC [Fernando Henrique Cardoso]. No governo Lula, ela foi abandonada. Não havia interesse na criação deste centro. O que aconteceu é que a infra-estrutura em nanotecnologia foi reforçada no LNLS, com apoio da Finep e da Fapesp, e em outros laboratórios. Não creio que este centro venha a ser criado em um futuro próximo. É uma pena, mas é a realidade." (por e-mail, 06/03/2007)

Na visão de Gonçalves da Silva, a reação contrária da comunidade científica à criação do centro nacional fez o MCT abandonar a idéia:

"Há uma grande resistência da comunidade a laboratórios que não possam ser controlados pelo catedrático (que mudou de nome, mas não

desapareceu do nosso sistema). Um centro nacional requer outra estrutura de poder, mais impessoal, onde o acesso é baseado no mérito das propostas e não na opinião do 'proprietário' do equipamento. O próprio LNLS enfrentou (e ainda enfrenta) resistências por causa disto." (por e-mail, 06/03/2007)

Todavia, mesmo sem a criação do centro nacional, Gonçalves da Silva não julga que a estratégia adotada pelo governo seja equivocada, mas sim incompleta. Ele concorda que as competências regionais são importantes, embora só elas não bastem.

"A criação de competências locais e regionais, adequadamente apoiadas por infra-estrutura laboratorial, faz parte da construção de um sistema nacional de ciência e tecnologia completo. Porém, mais cedo ou mais tarde, será necessário concentrar recursos para ter uma massa crítica de pesquisadores para enfrentar desafios reais e não apenas para a pesquisa acadêmica. Mas, para que isto aconteça, será preciso que alguém se disponha a enfrentar - como a equipe do LNLS enfrentou durante anos - as resistências da academia brasileira." (por e-mail, 06/03/2007)

Gonçalves da Silva entende que a concentração de recursos (e de pesquisadores) está na essência da atividade de pesquisa e, para ilustrar, cita a acumulação de grandes universidades e laboratórios na Califórnia do Sul, San Francisco, Boston, Chicago, Grenoble, Berlim, Tsukuba etc. Segundo ele, essa concentração se faz necessária "para enfrentar desafios reais e não apenas para a pesquisa acadêmica" (por e-mail, 06/03/2007).

### **9.9) NANO-PATENTES**

Como visto, os discursos de estímulo à inovação são hoje comuns. Logo, tende a ser maior o incentivo para que grupos de pesquisa estabeleçam interação com empresas. "Promover melhores condições para interações entre instituições, empresas e indivíduos - locais, nacionais e internacionais" e "fortalecer a colaboração, o 'networking' em prol de um maior fluxo de conhecimento para as empresas, o empreendedorismo e a criação de novas empresas de base tecnológica" são ações enfatizadas para a inovação na universidade. (MASSAMBANI, 2006)

Em especial na área de nanotecnologia, cresce o interesse de pesquisadores por projetos com aplicação industrial, voltados ao desenvolvimento de novos produtos e processos. Não espanta, portanto, que se pense na exploração comercial desses produtos e processos. Em consequência, o assunto patentes vem à tona.

"O acelerado desenvolvimento das nanociências e das nanotecnologias e as expectativas de exploração comercial dos seus produtos têm contribuído para a crescente importância da obtenção dos direitos de propriedade intelectual. Invenções no campo da nanotecnologia comportam características técnicas específicas<sup>6</sup>, as quais devem ser compreendidas pelos gestores de propriedade intelectual de instituições acadêmicas e empresas e pelo agente de propriedade industrial - responsável pela redação do pedido de patente." (COSSENZA, 2006)

Quando o assunto é patente, o caráter interdisciplinar da nanotecnologia constitui um desafio. "A natureza interdisciplinar de uma invenção apresenta problemas não somente

de aplicação dos requisitos de patenteabilidade<sup>7</sup>, mas também para a sua busca nos bancos de patente." (Ibid, 2006) Uma patente de nanotecnologia pode abranger diferentes áreas, como física, química, biologia, ciência e engenharia de materiais, computação, meio ambiente etc. A Classificação Internacional de Patentes foi modificada para inserir a nanotecnologia. O United States Patent and Trademark Office e o European Patent Office também têm buscado se adaptar.

Contudo, "os escritórios de patentes do mundo ainda não estão suficientemente preparados para avaliar patentes nanotecnológicas. INPI [Instituto Nacional da Propriedade Industrial] brasileiro não foge à regra" (GUSMÃO, 2006). Como uma única invenção pode gerar várias patentes e uma única patente pode gerar vários produtos, inventores tendem a fazer reivindicações bem amplas, o que acarreta um risco de litígio judicial. São recomendados dois cuidados principais ao se escrever patentes de nanotecnologia: "determinar bem o escopo da proteção" e "demonstrar que a nova propriedade derivada da nanotecnologia não existe (pesquisa nas bases internacionais)" (Ibid, 2006). Cabe mencionar, porém, que patentes e produtos podem ser de nanotecnologia e não usar o prefixo nano, assim como eles podem não ser de nanotecnologia e levar o prefixo, que é utilizado apenas quando conveniente. Em alguns casos, a terminologia nano é empregada porque se acredita que o mercado vai aceitá-la como vantajosa. Em outras circunstâncias, ela é abolida para que uma invenção não seja associada a riscos nem barrada por eventuais regulamentações.

Tamara Barlem, representante da petroquímica Braskem, uma das cinco maiores indústrias brasileiras de capital privado, fez um levantamento dos depósitos de patentes de nanotecnologia aplicada a polímeros. Em 1996, foram 23 nos Estados Unidos, 13 na Europa e 7 no Brasil. Em 2006, o número de depósitos chegou a 664 e 343 nos Estados Unidos e na Europa, respectivamente, mas no Brasil ficou em somente 24. "No início, a maioria das patentes era depositada por universidades, não por empresas. Isso mudou, principalmente na Europa e nos EUA. No Brasil, ainda não é bem assim" (BARLEM, 2006) Entretanto, a Braskem, que investe R\$ 30 milhões por ano em pesquisa e desenvolvimento e emprega 170 pesquisadores, já depositou 142 patentes no Brasil e no mundo. Dois depósitos foram na área de nanocompósitos, em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). "Seria importante que houvesse mais desenvolvimentos nesta área, realizados aqui no Brasil, resultando no aumento de patentes com origem no nosso país" (Ibid, 2006).

De acordo com relatório assinado por Fernando Galembeck e Márcia Maria Rippel, de outubro de 2004, o número de patentes em nanotecnologia depositadas no INPI era de 231. Somente 19 eram de inventores brasileiros, sendo 11 de instituições públicas, 5 de pessoas físicas e 3 de empresas. (GALEMBECK; RIPPEL, 2004) Porém, no documento *Levantamento da Nanotecnologia na Unicamp*, de abril de 2005, consta que essa

universidade tem 43 patentes nano-patentes depositadas, sendo 35 só do Instituto de Química. Salvo melhor juízo, é possível que o relatório de 2004 esteja desatualizado<sup>8</sup>. Contudo, para entender a diferença de dados, vários aspectos deveriam ser analisados, tais como: quais palavras-chave foram usadas na busca das patentes; quais critérios foram usados para definir que uma patente é de nanotecnologia; e em qual etapa se encontra o processo de patenteamento. Mas isso é digressão: a análise da diferença de dados entre os documentos foge ao escopo desta dissertação.

A questão central é que, das patentes totais depositadas no país, a maioria não é de brasileiros. Todavia, "espera o INPI receber futuramente um aumento nos depósitos de patentes sobre nanotecnologia realizadas por brasileiros (hoje cerca de 90% das patentes concedidas no INPI são de empresas estrangeiras)" (TREDINNICK, 2006). Indústrias, centros de pesquisa e universidades devem interagir com o INPI antes de iniciar pesquisas tecnológicas, para evitar o "reinventar da roda" (Ibid, 2006), isto é, para que não se produza conhecimento que já existe e tem dono.

Por fim, lembra-se que a nanotecnologia vem sendo desenvolvida no Brasil no âmbito de redes cooperativas de pesquisa, isto é, muitos atores são responsáveis pelos resultados dos trabalhos. Em outras palavras, um resultado tem muitos donos, o que precisa ser analisado cuidadosamente na hora de se decidir com quem ficará uma possível patente.

### **9.10) CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO**

Embora seja necessário investir mais na formação de recursos humanos e em infraestrutura para N&N, pesquisadores reconhecem que já existem grupos de excelência, inclusive com competitividade internacional, e laboratórios bem equipados para essas áreas. A construção desse contexto favorável ao desenvolvimento das N&N começou antes de 2000 e se fortaleceu por meio do estabelecimento de redes, com o compartilhamento das facilidades de pesquisa - um jeito de maximizar os resultados apesar dos recursos limitados. Em relação às redes, atribuem-se a elas características como multidisciplinares e espalhadas territorialmente, mas a integração entre os grupos das diferentes disciplinas e o fortalecimento dos grupos emergentes são aspectos que precisam receber mais atenção. De toda a forma, o trabalho em rede, mais conhecido como trabalho em colaboração, parceira ou cooperação, já é praticado por pesquisadores há muito tempo, inclusive de modo informal. Entretanto, antes, ele não costumava envolver tantos parceiros como se verifica hoje nas redes de nanotecnologia.

Há resultados importantes, mas, ao que tudo indica, eles pertencem, sobretudo, ao domínio das nanociências. No campo das nanotecnologias, embora existam resultados que não podem ser desprezados, a situação ainda deixa a desejar. E isso tem a ver com o fato de que o vínculo entre universidades/instituições de pesquisa e empresas permanece frágil.

Qual o motivo dessa fragilidade? Alguns pesquisadores atribuem à falta de cultura de inovação dentro das universidades e demais instituições de pesquisa, onde não se lêem patentes, não se trabalha com foco nas demandas do mercado etc. Outros pesquisadores culpam as empresas, que preferem comprar tecnologias prontas a investir em pesquisa e desenvolvimento.

Motivos à parte, a questão é que os grupos que atuam em N&N estão, predominantemente, nas universidades/instituições de pesquisa. Contudo, entre esses grupos, começa a florescer um discurso pró-inovação, presente, por exemplo, nos estudos básicos que procuram não perder de vista as possibilidades de aplicação dos conhecimentos em produtos e processos. Tal discurso está em sintonia com o discurso do governo federal, que, sobretudo a partir de 2001, tem pregado a favor da inovação. Prova disso é a ligação evidente que existe entre o Programa Nacional de Nanotecnologia e a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE).

Como bem lembrou Nelson Duran (Unicamp), a adoção do prefixo nano - que é mais recente do que as pesquisas em nanoescala - veio acompanhada por esse discurso pró-inovação:

“Antes, tínhamos pesquisa básica, para explicação de fenômenos, visando a publicações científicas. Depois, a pesquisa em si não sofreu tanta modificação. O que mudou foi o foco: além de publicar, o objetivo passou a ser também a aplicabilidade (produtos), inclusive social (fármacos para tuberculose, malária e esquistossomose).” (por telefone, 27/11/2006)

Porém, vários pesquisadores consideram que, hoje em dia, apesar de se falar muito de inovação, pouco tem sido feito efetivamente. A crítica é, sim, pertinente, visto que os discursos, muitas vezes, podem induzir as pessoas a imaginarem ações mais agressivas e resultados mais concretos do que os de fato existentes. Seja como for, já existem iniciativas importantes que não devem ser ignoradas. Algumas empresas de grande porte, como a Braskem, a Suzano e a Oxiten, tem projetos de nanotecnologia. Além disso, estão surgindo novas empresas incubadas de base nanotecnológica, como a Ponto Quântico, a Orby e a Nanobrax. Destaca-se, ainda, que muitas das redes de nanotecnologia formadas contam com parceiros do setor produtivo. Isso indica que, mesmo que o avanço se dê a passos lentos e que os resultados concretos ainda sejam limitados, existe um movimento no sentido da inovação. De qualquer forma, para que a nanotecnologia brasileira – e não apenas a nanociência – se torne competitiva no cenário internacional, é preciso acelerar esse processo no país.

Ressalta-se, todavia, que 'acelerar o processo' é algo que não deve se restringir aos laboratórios de pesquisa e ao setor produtivo. Também é preciso 'acelerar o processo' para: incluir a nanotecnologia nos debates das ciências sociais; disseminar informações sobre o assunto junto à sociedade e incentivá-la a refletir sobre vantagens e desvantagens;

fomentar estudos que avaliem potenciais riscos; refletir sobre regulamentação<sup>9</sup> etc. É preciso deixar claro que estimular uma reflexão crítica acerca da nanotecnologia não significa criar entraves ao seu desenvolvimento, mas sim estimular um desenvolvimento responsável.

Outra questão importante é que, embora associada à inovação, a nanotecnologia é algo muito amplo, que pode englobar uma variedade de temas. Por isso, a estratégia 'fomentar a nanotecnologia' se torna inespecífica. Assim, seria necessário definir, dentro do universo 'nanotecnologia', quais os temas prioritários para investimentos, de acordo com as características nacionais. A Consulta NanoDelphi teve esse objetivo e temas identificados como prioritários nessa consulta estão sendo estudados no Brasil. Porém, pesquisadores se queixam de que ainda não há um foco bem definido para pesquisa e desenvolvimento de N&N no país.

Por um lado, investir em temáticas variadas pode trazer benefícios, na medida em que o país não fique descoberto e vulnerável em nenhuma área importante. Por outro lado, se houver poucos recursos e muitas temáticas, o valor que caberá a cada tema será insuficiente para a realização de pesquisa e desenvolvimento de alto nível. Dessa forma, deve-se discutir quais as melhores estratégias possíveis neste momento para o Brasil e definir os rumos - levando em consideração, por exemplo, as recorrentes queixas dos pesquisadores sobre recursos limitados e o fato de que o Brasil investe pouco em nanotecnologia, se comparado a outros países, sobretudo os mais desenvolvidos.

Por fim, lembra-se que os aspectos discutidos acerca da nanotecnologia são, em sua maioria, válidos também para outras novas tecnologias.

## NOTAS

<sup>1</sup> Houve 1066 trabalhos em nano na USP entre 1990 e 2006. Pouco mais de 100 foram no período de 1990 a 1999, ou seja, o grosso dos trabalhos é posterior ao ano 2000. Os dados são da palestra *A produção de conhecimento e a inovação em nanotecnologias na USP*, proferida por Oswaldo Massambani, diretor da Agência USP de Inovação, durante o Congresso Internacional Nanotec 2006, em São Paulo.

<sup>2</sup> Segundo Belita, a grande e única aplicação da computação quântica, onde ela é vantajosa, é na fatoração de números primos gigantes, o que tem muita relevância para criptografia e, portanto, para segurança nacional, mas ela não afeta o uso doméstico do computador.

<sup>3</sup> Santa-Cruz faz uma distinção entre nanotecnologia convencional e nanotecnologia avançada. A primeira seguiria o mesmo princípio da microeletrônica, em uma abordagem top-down, como fabricar um palito desgastando uma árvore. A segunda seria a mais revolucionária, com uma abordagem bottom-up, de baixo para cima, a partir do controle no nível de átomos e moléculas.

<sup>4</sup> Em relação ao Biphor (pigmento branco de base nanotecnológica), cuja pesquisa foi encabeçada por Galembeck, uma planta hoje produz uma tonelada do produto por dia, uma quantidade pequena, usada para fazer amostras distribuídas aos fabricantes de tintas, de modo que eles possam estudá-lo e experimentá-lo. "O Biphor está no mercado? Sim, mas nada é faturado ainda. O produto da Braskem está no mercado? Ele também está sendo entregue para possíveis usuários. O produto da Suzano ainda não está sendo entregue, até onde eu sei. Algum produto nanotecnológico brasileiro

com faturamento significativo está no mercado? Nenhum, até onde eu sei", disse o pesquisador da Unicamp, referindo-se a produtos nanotecnológicos baseados em conhecimentos novos, isto é, com "fator inovador". "Pois o fato de que partículas de prata têm efeito anti-microbiano é conhecimento antigo", justificou, na entrevista à autora desta dissertação.

<sup>5</sup> Um *spin-off* acadêmico é "uma empresa criada para explorar uma propriedade intelectual gerada a partir de um trabalho de pesquisa desenvolvido em uma instituição acadêmica", segundo definição apresentada no artigo *Spin-off acadêmico: criando riquezas a partir de conhecimento e pesquisa*, publicado no suplemento de novembro-dezembro de 2005 da revista *Química Nova*. Disponível em <[www.scielo.br/pdf/qn/v28s0/26771.pdf](http://www.scielo.br/pdf/qn/v28s0/26771.pdf)>. Acesso em 02/04/2007.

<sup>6</sup> Conhecer as nuances da nanotecnologia não é requisito apenas para patenteá-la, mas também para regulamentá-la, conforme explicitado por Henrique Toma, vide Anexo 1.

<sup>7</sup> Esses requisitos são: novidade, atividade inventiva e aplicação industrial. Cabe destacar que concepções puramente abstratas não são consideradas invenções, de modo que o que Feynman e Drexler fizeram, nos primórdios da nanotecnologia, não seria patenteável.

<sup>8</sup> Cabe lembrar que, se somarmos todos os depósitos de patentes referidos pelas redes, Institutos do Milênio e demais projetos em nano, o total obtido também vai superar 19. Há que se considerar, de qualquer modo, que, como um mesmo pesquisador ou grupo de pesquisa participa de diferentes iniciativas de nanotecnologia, deve haver depósitos de patentes contabilizados mais de uma vez. Mesmo assim, o total superaria 19.

<sup>9</sup> Cabe mencionar que autores defendem, sobretudo, a regulamentação das nanotecnologias, e não das nanociências.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Oswaldo. *Desenvolvimento Científico da Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (Janeiro 1994 - Julho 2004)*. Campinas: 22 p., setembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7603.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7603.pdf)>. Acesso em 20/03/2007.
- ALVES, Oswaldo. *Mapeamento da Competência Nacional em Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (1994 - 2004)*. Campinas: 23 p., fevereiro/2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7604.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7604.pdf)>. Acesso em 19/03/2007.
- ALVES, Oswaldo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 12/03/2007.
- AROUCA, Maurício Cardoso. *Nanociências e Nanotecnologia: Iniciativas no Brasil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006a. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- AROUCA, Maurício Cardoso. *O desafio inovador brasileiro: O papel da FINEP - Agência Brasileira de Inovação*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006b. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mca.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mca.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- BARLEM, Tamara. *Evolução de Depósitos de Patentes de Nanotecnologia Aplicada a Polímeros*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/tgb.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/tgb.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- BAUMVOL, Israel. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 30/10/2006.
- COSENZA, Ana Paula. *Patentes em nanotecnologia*. V Bienal de Pesquisa. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2006.

- DURAN, Nelson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 27/11/2006.
- GALEMBECK, Fernando; RIPPEL, Márcia Maria. *Nanotecnologia: estratégias institucionais e de empresas*. Campinas: 109 p., outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7608.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7608.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- GALEMBECK, Fernando. *Laboratório, protótipo e mercado – Os caminhos da nanotecnologia*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006a. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- GALEMBECK, Fernando. *Uma visão de pesquisador*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006b. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/fg1.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg1.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- GALEMBECK, Fernando. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.
- GOMES, Anderson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 03/11/2006.
- GONÇALVES DA SILVA, Cylon. (coordenador da Comissão NanoDelphi). *Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia - NanoDelphi - Relatório Final*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 128 p., 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/2181.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/2181.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- GONÇALVES DA SILVA, Cylon. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 06/03/2007.
- GUSMÃO, José Roberto d'Afonseca. *Nanotecnologia e Patentes*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/jrg.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/jrg.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- KNOBEL, Marcelo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.
- KOILLER, Belita. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, presencialmente, em 06/11/2006.
- LONGO, Elson. Comunicação de pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 30/11/2006.
- MASSAMBANI, Oswaldo. *A produção de conhecimento e a inovação em nanotecnologias na USP*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/om.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/om.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- MENDES, Alfredo de Souza. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 29/12/2006.
- MORAIS, Paulo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.
- PITCE 2 anos. Brasília: ABDI, 50 p., 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/8052.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/8052.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- SALAMANCA-BUENTELLO F. et al. Nanotechnology and the Developing World. *PLoS Medicine*, vol. 2, issue 4, p. 0300-0303, abril/2005.
- SANTA-CRUZ, Petrus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.

- SILVA, Eronides. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 31/10/2006.
- SWART, Jacobus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 06/03/2007.
- TOMA, Henrique. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 12/03/2007.
- TREDINNICK, Marcelo. *Uma questão crítica: Depósitos das patentes de nanotecnologia no Brasil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mt.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mt.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.

## CAPÍTULO 10: A NANO NAS CIÊNCIAS HUMANAS

*“A proximidade do futuro é hoje tão intensa que nenhum presente é democrático sem ele.”*

Paulo Roberto Martins

A nanotecnologia é algo novo para a maioria das pessoas. Assim como qualquer novidade, essa manipulação suscita dúvidas quanto à sua segurança. Determinados segmentos da sociedade já reclamam da falta de informações e de pesquisas sobre os riscos que podem estar associados à nanotecnologia. Esses mesmos segmentos cogitam que produtos nanotecnológicos podem causar malefícios à saúde humana e animal, envenenamento do meio ambiente, desemprego, concentração da renda e aprofundamento das desigualdades sociais, entre outros possíveis impactos negativos. De forma semelhante ao que aconteceu com os transgênicos, esse tipo de polêmica sobre a nanotecnologia já chegou aos grandes jornais, inclusive no Brasil.

Em outubro de 2006, a *Revista O Globo* publicou uma matéria sobre o uso da nanotecnologia na indústria de alimentos. O texto apresenta informações extraídas do jornal norte-americano *The New York Times*, segundo o qual produtos de base nanotecnológica, como aditivos e embalagens, já entraram no mercado de alimentos “silenciosamente”. A matéria traz, também, dados da empresa britânica de pesquisa de mercado Científica, segundo a qual, em um mercado global de alimentos de US\$ 3 trilhões, cabe ao uso comercial da nanotecnologia uma fatia de US\$ 410 milhões, que pode chegar a US\$ 5,8 bilhões até 2012.

A reportagem comenta, ainda, que a Food and Drug Administration (FDA), agência reguladora norte-americana de alimentos e remédios, já constatou o desafio de conciliar a inovação da nanotecnologia e o temor de consumidores.

“Muitos dos grupos que combatem a engenharia genética na agricultura já estão pedindo aos reguladores para reduzir o uso da nanotecnologia em geral e, em particular, seu uso na indústria alimentícia e cosmética até que mais testes de segurança sejam realizados.” (*Revista O Globo*, 22/10/2006, p. 44)

Prática relativamente comum dos meios de comunicação de massa brasileiros quando abordam temas de ciência e tecnologia, a *Revista O Globo* reporta fatos do cenário internacional, sem trazer o debate para o contexto nacional. Mas o fato é que, no Brasil, a nanotecnologia está deixando de ser alvo só da física, química e biologia. Pouco a pouco, suas potencialidades e riscos começam a ser discutidos pelas ciências humanas, e há um movimento, ainda lento, a favor de abrir esse debate para toda a sociedade. Já existem no país alguns profissionais de diferentes áreas do conhecimento interessados em analisar outros aspectos da nanotecnologia além dos puramente técnico-científicos, como suas

dimensões econômicas, políticas, ambientais, éticas etc. Parte desses profissionais integra a Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), criada em 2004.

Os seminários da Renanosoma reúnem dos entusiastas aos opositores da nanotecnologia, mas seu propósito não é acusá-la nem defendê-la, e sim investigar os impactos da chamada revolução nanotecnológica à luz das ciências humanas. “Reiteramos, pois, que qualquer tecnologia *per se* não é nem boa nem má; entretanto, também nunca é neutra em termos socioeconômicos e seu caráter ou resultado dependerá do ‘pacto social’ que orientou seu desenvolvimento e uso.” (DALCOMUNI, 2006, p. 63)

Os objetivos da Renanosoma são explicados por seu fundador e coordenador, o sociólogo, mestre em Desenvolvimento Agrícola e doutor em Ciências Sociais Paulo Roberto Martins, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT):

“Esta Rede tem por objetivo fazer com que a nanotecnologia também seja um objeto de pesquisa das ciências humanas. A nanotecnologia vem sendo estudada majoritariamente e prioritariamente pelas ciências exatas e ciências biológicas. Trata-se então de fazer com que as ciências humanas se incorporem a esta produção de conhecimentos para que possamos ter uma visão completa sobre a nanotecnologia. No nosso caso, nós estamos interessados em estudar quais são os efeitos, os impactos da introdução desta tecnologia na sociedade e no meio ambiente. Nós acreditamos que a nanotecnologia terá um impacto bastante importante. Portanto, é preciso que saibamos de forma antecipada quais serão os problemas que iremos ter pela frente, decorrentes da adoção da nanotecnologia.” (MARTINS, 22/02/2006)

Os esforços da Renanosoma se encaixam em uma preocupação mundial crescente com questões de ética e segurança da nanotecnologia. Essa preocupação tem se manifestado de várias formas. Em 2006, o Comitê de Ética do Conselho Nacional de Pesquisa Científica da França publicou um documento com recomendações acerca dos aspectos éticos das nanociências e nanotecnologias. Entre as recomendações estão estimular o interesse de pesquisadores das ciências humanas pela nanotecnologia; criar espaços de debate entre as ciências humanas, exatas e biológicas; e divulgar as conseqüências da escolha da nanociência como prioridade, sem se limitar aos econômicos e industriais e sem omitir possíveis efeitos negativos. (*Comets/CNRS*, 2006)

A questão da segurança da nanotecnologia também já estampou as páginas da célebre revista científica *Nature*. Em artigo da edição de 16/11/2006, Andrew D. Maynard, do Woodrow Wilson International Center for Scholars, e co-autores afirmam que os temores sobre possíveis riscos da nanotecnologia podem até ser exagerados, mas não são infundados. “O espectro de possível dano – se real ou imaginado – está ameaçando desacelerar o desenvolvimento da nanotecnologia, a não ser que informação sólida, independente e confiável seja produzida sobre quais são os riscos e como evitá-los.” (MAYNARD et al, 2006, p. 267)

Os autores propõem cinco grandes desafios para se obter nanotecnologias seguras e responsáveis. Em resumo, dentro de, no máximo, 15 anos, é preciso desenvolver: instrumentos para medir a exposição a nanomateriais no ar e na água; métodos para avaliar a toxicidade de nanomateriais; modelos para prever o impacto de nanomateriais no meio ambiente e na saúde humana; sistemas para acompanhar esse impacto desde a manufatura até o uso final dos nanomateriais; e programas estratégicos que possibilitem pesquisas sobre os potenciais riscos.

Quando o assunto são os riscos – reais ou imaginados – associados à nanotecnologia, cabe contar a história do Magic Nano, spray para limpeza de vidros e cerâmicas lançado em latas de aerossol, mas já vendido há anos em garrafas de pressão, na Alemanha. Em 31/03/2006, o Instituto Federal para Avaliação de Risco expediu um comunicado recomendando que a população não mais usasse o aerossol (ou, pelo menos, não o usasse em ambientes fechados). A nota oficial dizia que, em curto intervalo de tempo, 39 pessoas teriam apresentado sérios problemas respiratórios após contato com o aerossol (não havia registro de intoxicação associado ao uso do spray em garrafa de pressão). Seis delas teriam sido hospitalizadas com edema pulmonar. Segundo o comunicado, o produto conteria nanopartículas e estas poderiam danificar tecidos dos pulmões e prejudicar a troca de oxigênio, o que acarretaria desordens respiratórias. (*BfR*, 31/03/2006)

O aerossol foi recolhido do mercado. Contudo, meses depois, em 26/05/2006, o mesmo instituto alemão divulgou que as nanopartículas não eram as responsáveis pela intoxicação dos usuários: análises revelaram que ambas as formulações do spray Magic Nano não continham nanopartículas – o termo nano no nome do produto seria empregado apenas para chamar a atenção. Até aquela data, a causa da intoxicação ainda não havia sido elucidada. Ainda que, nesse caso, aparentemente, as nanopartículas tenham sido ‘inocentadas’, o recolhimento do produto foi uma correta medida de precaução. Para os objetivos desta dissertação, o Magic Nano é importante porque traz à tona a questão de se a sociedade está preparada para lidar com a nanotecnologia, desde o nano-marketing até suas implicações éticas, sociais e ambientais.

Essas questões, que fazem parte do escopo da Renanosoma, vêm despertando, aos poucos, a atenção das pessoas: a rede foi fundada com 12 pesquisadores de dez instituições, em outubro de 2004; um ano depois, havia 28 membros de 22 instituições (MARTINS, 2006, p. 12). No início de 2007, já eram cerca de 40 integrantes (MARTINS, 2007).

A rede foi criada durante o I Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Seminanosoma), realizado nos dias 18 e 19 de outubro de 2004, na Casa da Cultura Japonesa da Universidade de São Paulo (USP), sob coordenação de Paulo Roberto Martins. É importante lembrar que, em 2003, esse pesquisador foi quem mais

registrou comentários na consulta pública sobre o documento-base do Programa Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia. Os comentários do sociólogo destacavam, sobretudo, a necessidade de se estudar os impactos ambientais e sociais da nanotecnologia.

Entre os conferencistas do I Seminário estavam Eronides Silva, Nelson Duran e Oscar Malta, coordenadores de redes de nanotecnologia criadas pelo Edital CNPq Nano nº 01/2001. A presença desses três renomados pesquisadores das 'ciências duras', há tempos envolvidos com manipulação da matéria em escala nanométrica, revela que eles estavam dispostos a contribuir para que a nanotecnologia passasse a ser discutida também no âmbito das ciências humanas.

Em sua apresentação, Nelson Duran destacou que, por um lado, é necessário estudar quais são e como evitar os possíveis efeitos tóxicos dos nanomateriais para o meio ambiente e para a saúde humana. O pesquisador citou um trabalho segundo o qual pontos quânticos deixavam de ser tóxicos para culturas de hepatócitos quando recobertos por albumina. Por outro lado, o conferencista também ressaltou que a nanotecnologia contribui para a proteção ambiental. Como exemplos, Duran comentou um trabalho da Universidade de Delaware, que estudava nanomateriais para a eliminação de poluentes gerados por carros, e projetos da Universidade da Califórnia em São Diego e da Universidade de Lehigh, que visavam empregar a nanotecnologia na remoção de contaminantes da água. (DURAN, 2004)

A conclusão do I Seminário, nas palavras de Sônia Maria Dalcomuni, diretora do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), foi a seguinte:

“Norteamos nossos argumentos [...] em torno da pergunta: ‘Enquanto sociedades brasileira e mundial, estamos preparados para a emergência, em curso, do novo paradigma pautado no desenvolvimento integrado nas áreas de nanotecnologia, biotecnologia e tecnologias da informação?’ As ricas discussões daquele encontro explicitaram que a resposta àquela inquietante questão é que nem a sociedade mundial e ainda menos a sociedade brasileira estão preparadas para uma participação ativa e para o direcionamento desses desenvolvimentos tecnológicos.” (DALCOMUNI, 2006, p. 57)

De acordo com a economista, as pesquisas em nanotecnologia no Brasil estão isoladas e concentradas nas áreas de física, química e biologia. Assim, suas implicações econômicas, sociais, legais e éticas, embora significativas, são desconhecidas. Como solução, a pesquisadora aponta o desenvolvimento da nanotecnologia de forma multidisciplinar e com o engajamento do público nos debates sobre oportunidades e riscos.

### 10.1) A SEGUNDA EDIÇÃO DO SEMINANOSOMA

O II Seminanosoma ocorreu em outubro de 2005, também em São Paulo. Novamente sob coordenação de Paulo Roberto Martins, as conferências foram realizadas no auditório da Faculdade de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da USP, no dia 19, e no auditório Cid Vinio do IPT, nos dias 20 e 21. O evento teve apoio financeiro e material do Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural do Ministério de Desenvolvimento Agrário (Nead/MDA). Isso demonstra o reconhecimento de que a nanotecnologia pode ter forte penetração no setor agrícola.

Na abertura do encontro, a socióloga, mestre e doutora em Ciências Sociais Magda Zanoni, representante do Nead/MDA, fez um alerta:

“Ainda não é adotado em nível governamental em um grande número de países, senão em sua maioria, um sistema de regulamentação jurídica específica referente ao estatuto das nanopartículas, seus impactos sobre a saúde e o meio ambiente. No entanto, já circula no mercado uma série de produtos que contêm nanopartículas. São, porém, insuficientes os estudos e pesquisas sobre sua toxicidade e também é pouco conhecida a mobilidade dessas partículas no corpo humano, sobretudo na pele, no cérebro, na placenta, assim como no meio ambiente e seus diversos componentes, solo, ar e água.” (ZANONI, 2006, p. 28)

Ainda segundo a socióloga, a nanotecnologia mexe com o imaginário da população e nela gera medos. Em vez de serem sobrepujados pelas idéias dos cientistas e engenheiros que produzem a nanotecnologia, esses medos devem ser identificados e discutidos em novas pesquisas. A conferencista cita que a perda de controle, o mau uso das descobertas e a transgressão foram os grandes temores em relação à nanotecnologia revelados por um estudo na França. (Ibid, p. 29)

Em uma comunicação eletrônica, à distância, o doutor em Física Juergen Altmann, professor da Universidade de Dortmund, na Alemanha, abordou a nanotecnologia e a questão militar. Ele estimou que os Estados Unidos gastam R\$ 220 milhões por ano com nanotecnologia para uso militar, contra R\$ 40 milhões dos demais países juntos. Altmann alertou para perigos potenciais como pequenos mísseis que poderiam ser disparados da bolsa de uma senhora; implantes no corpo humano que permitiriam controlar o cérebro; e robôs diminutos que invadiriam a privacidade das pessoas ou deflagrariam ataques terroristas. Limitar essas aplicações da nanotecnologia foi a recomendação deixada pelo físico. (ALTMAN, 2006)

A nanotecnologia ocasionará inovações na área militar, mas também poderá contribuir para as metas do milênio fixadas pela Organização das Nações Unidas (ONU). O contraponto foi feito pelo químico Renzo Tomellini, à frente da Unidade de Nanotecnologia da Diretoria Geral de Pesquisa da Comissão Européia, que acabara de aprovar um orçamento de US\$ 12 milhões para projetos sobre segurança e toxicologia de nanomateriais. Tomellini contou que estão em andamento na Europa trabalhos com

nanotecnologia para combater o câncer e a Aids, tratar a água e gerar energia, bem como pesquisas com nanotubos, auto-organização da matéria, arquitetura supramolecular e máquinas moleculares. Quanto aos nano-robôs, o conferencista garantiu que eles ainda fazem parte da ficção.

“Hoje, não há evidência de que o que fazemos seja perigoso, da forma como estamos fazendo. Temos evidência toxicológica de que nanopartículas podem penetrar no corpo, fazer isso e aquilo, mas em condições que, hoje, não são realistas. Então, no momento, a primeira mensagem é que sabemos que não sabemos o suficiente, mas aquilo que sabemos nos diz que a situação é encorajadora e não estamos fazendo nada errado. Não significa que temos de desacelerar. Temos de saber mais e mais.” (TOMELLINI, 2006, p. 47)

Reflexões iniciais sobre nanotecnologia feitas pelas ciências sociais, no Brasil, buscam analisar se essa nova tecnologia vai superar a escassez de recursos naturais e os problemas ambientais decorrentes dos modos de produção que vêm sendo adotados. (MARTINS, 2006, p. 130) Os produtores da nanotecnologia alegam que sim, pois ela permite a construção de matérias-primas a partir dos átomos dos elementos e requer o uso de menos recursos e energia. Contudo, por necessitar de infra-estrutura cara e complexa, a nanotecnologia tende a ser conduzida por grandes corporações, e muitas delas costumam ter históricos de degradação ambiental e exploração dos trabalhadores. Mas também é verdade que hoje, diferentemente do passado, consumidores pressionam empresas para que elas assumam uma trajetória de responsabilidade sócio-ambiental. Uma conclusão é que todos esses fatores devem ser analisados conjuntamente quando se estuda em que medida a nanotecnologia pode ou não contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Outra conclusão é que esse tipo de estudo deve começar a ser feito o quanto antes e seus resultados precisam ser amplamente divulgados para todos os segmentos da sociedade. Prova disso foi o depoimento de uma funcionária da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Governo do Estado de São Paulo (Cetesb). Durante debate no II Seminário, ela revelou que sua equipe não tinha a menor idéia do que fosse nanotecnologia, embora acreditasse que houvesse riscos para o meio ambiente e para a saúde. (Apud MARTINS, 2006, p. 136)

Também durante o II Seminário, o caso histórico do índigo foi lembrado por Pat Roy Mooney, diretor-executivo do Grupo de Ação sobre Erosão, Tecnologia e Concentração (ETCGroup), pequena organização internacional da sociedade civil, com sede no Canadá.

“Tivemos uma grande saga de índigo na Índia para a indústria de corantes do mundo, e de repente os alemães desenvolveram um processo de fabricação de anilina que eliminou a necessidade do índigo. As pessoas morreram de fome. As safras apodreceram nos campos.” (MOONEY, 2006, p. 167)

O conferencista traçou um paralelo entre a história do índigo e casos atuais envolvendo nanotecnologia. Por exemplo: em agosto de 2005, empresas do Japão e dos Estados Unidos teriam anunciado o desenvolvimento de sistemas nanotecnológicos para substituir totalmente ou quase a platina em baterias de automóveis e em outras aplicações. Isso representaria uma importante redução de custos para várias indústrias, mas é uma má notícia para a África do Sul, onde milhares de famílias tiram seu sustento da mineração de platina. Outros trabalhos em nanotecnologia têm sugerido que os nanotubos de carbono, mais eficientes na condução de eletricidade, poderiam substituir o cobre em diferentes usos industriais, o que teria impactos negativos no Chile, na Zâmbia, na Indonésia e em outros países cuja economia depende da exportação do metal. (Ibid, p. 165-166) Mooney também fez uma comparação entre a trajetória da nanotecnologia e o caso histórico do amianto:

“Espera-se que, na Europa, entre 250 mil e 400 mil pessoas ainda venham a óbito por doenças de amianto, embora este tenha sido retirado do mercado. Então, seria o equivalente a dois tsunamis na Europa. São tsunamis silenciosos, mas são tsunamis devido à falha por parte de reguladores do governo em agir, porque a indústria dizia que não havia evidência científica suficiente. [...] Há 720 produtos no mercado, hoje, que têm nanotecnologia. [...] O fato de os governos não terem regulamentado não me deixa muito à vontade, especialmente quando eu olho a história de como os governos, nos últimos cem anos, cuidaram da regulamentação.” (Ibid, p. 172)

A jornalista Sílvia Ribeiro, outra representante do ETCGroup, também participou do II Seminário. Ela comentou experimentos nos quais nanoesferas de carbono causaram dano no cérebro de peixes; nanotubos de carbono afetaram os pulmões de ratos; e certos nanoprodutos inalados aumentaram o risco de formação de coágulos sanguíneos em coelhos. (RIBEIRO, 2006, p. 200) A jornalista destacou que, apesar desses resultados e da falta de mais estudos toxicológicos semelhantes, já existem produtos nanotecnológicos no mercado, como pesticidas nanoencapsulados, da Syngenta, e aditivos alimentares em nanoescala, da Basf, entre outros. (Ibid, p. 201-202) Pelo menos 260 corporações das áreas de agricultura e alimentos já investem em nanotecnologia, e não há regulamentação a respeito. (Ibid, p. 199) Sílvia se posicionou a favor de uma moratória global da nanotecnologia, assim como o conferencista Henrique Rattner, mestre em Sociologia, doutor em Economia Política e consultor do IPT.

“Junto com a definição de estratégias de uso dos conhecimentos gerados sobre a nova tecnologia, devemos propugnar por uma moratória no desenvolvimento de novos produtos e processos e de sua comercialização, até a elaboração de protocolos de laboratórios de pesquisa e de normas reguladoras estabelecidas por medidas legais, a fim de proteger trabalhadores e consumidores. A comercialização, em curso, de produtos cosméticos, alimentícios, protetores solares, tecidos e outros, à base de nanotecnologia, deve ser postergada até que se verifique e se certifique que são inofensivos para o público.” (RATTNER, 2006, p. 178)

Em oposição a Sílvia e Rattner, o engenheiro Paulo Cruvinel, mestre em Bioengenharia e doutor em Automação, falou da importância da nanotecnologia na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Ele destacou os desenvolvimentos científico-tecnológicos nas áreas de sensores, embalagens e saúde animal, e também um trabalho na linha de biossegurança. (CURVINEL, 2006, p. 237)

Contudo, a oposição mais eloqüente a Sílvia Ribeiro e Henrique Rattner foi feita pelo químico Petrus Santa-Cruz, doutor em Ciências dos Materiais, professor e pesquisador da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), coordenador de inovação da Renami e diretor da empresa incubada de nanotecnologia Ponto Quântico. Ele relatou duas experiências pessoais que salientam o lado benéfico e democrático da nanotecnologia. Uma situação ocorreu na UFPE, durante um encontro com integrantes do Movimento dos Sem-Terra (MST):

“Nós desenvolvemos um dispositivo para proteger o trabalhador rural contra o câncer de pele e os trabalhadores entenderam perfeitamente como funciona a nanotecnologia, nesse dispositivo. [...] E eles também me explicaram como poderíamos trocar conhecimentos na área.” (SANTA-CRUZ, 2006, p. 233)

A outra situação ocorreu em um fórum de nanotecnologia na Europa. Durante o evento, o químico brasileiro foi procurado por norte-americanos que discutiam o uso da nanotecnologia na fabricação de bombas. Mas ele também foi procurado por um iraquiano interessado na nanotecnologia para o tratamento de queimados:

“Na hora, eu fiquei realmente emocionado, porque há uma linha de pesquisa que desenvolve próteses e que age biologicamente, evitando a proliferação de bactérias em sistemas biológicos, por meio da liberação de nanopartículas de prata. Então, de um lado, estava-se pesquisando nanotecnologia para o desenvolvimento de bombas incendiárias e, do outro lado, estavam procurando tecnologia para a cura de queimados.” (Ibid, p. 286)

Segundo Santa-Cruz, a moratória da nanotecnologia no Brasil e em outros países em desenvolvimento é de interesse para as grandes potências, porque elas não querem que outras nações se tornem competitivas. Sendo assim, se o Brasil investir em nanotecnologia, pode colocar em risco o meio ambiente e a saúde humana e animal. Mas, se não investir, também há um risco: o de ficar dependente, mais uma vez, de tecnologias prontas compradas de outros países, como aconteceu em relação às áreas de microeletrônica e fármacos.

## **10.2) A REGULAMENTAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA**

“É melhor regulamentar a nanotecnologia ou tentar ‘sobreviver’ com as leis que hoje, bem ou mal, nos garantem alguns direitos no campo do consumo, do meio ambiente, dos agrotóxicos, entre outras leis esparsas que podem, talvez, ser aplicadas ao tema?” (MOREIRA, 2006, p. 184) Não há um consenso sobre o que é, de fato, melhor. Mas, até o

momento, o Brasil tem optado por aplicar à nanotecnologia leis já existentes. Como se trata de uma área multidisciplinar, a norma varia de caso para caso. O setor de nanofármacos, por exemplo, fica subordinado à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa).

Mas já houve tentativa de regulamentação específica para a nanotecnologia: o Projeto de Lei nº 5.076/2005, de autoria do deputado Edson Duarte (PV-BA), técnico em agropecuária e pedagogo. O Projeto de Lei previa o cadastro e o monitoramento das atividades de pesquisa e desenvolvimento na área, que deveriam ser previamente autorizadas pelo Poder Público. Previa, também, a criação da Comissão Técnica Nacional de Nanosseguurança (CTNano), a obrigatoriedade de que produtos nanotecnológicos fossem identificados nos rótulos e sanções para instituições que praticassem atividades de nanotecnologia lesivas ao meio ambiente, entre outras disposições. Embora essas propostas sejam sérias e sóbrias, o Projeto de Lei tem uma justificativa que, à primeira vista, pode parecer retirada de um livro de ficção científica:

“Os produtos que causam maior expectativa e igualmente apreensão, não só no meio acadêmico, são os nanobots, estruturas moleculares projetadas pelo homem que funcionam como máquinas que podem ser inseridas no ser humano para cumprir uma determinada função. Os nanobots podem ser utilizados, por exemplo, para curar defeitos genéticos, atuando diretamente nas células ou para acabar com as moléculas de colesterol. O grande temor aos nanobots reside na possibilidade de essas máquinas apresentarem defeito, se descontrolarem, passarem a atacar moléculas não previstas ou até se replicarem de maneira autônoma, o que poderia representar um risco inimaginável à humanidade e ao meio ambiente.” (DUARTE, 2005)

O relator do Projeto de Lei, o deputado Léo Alcântara (PSDB-CE), produziu um parecer rejeitando integralmente as propostas e seu parecer foi aceito pela Comissão de Desenvolvimento Econômico, Indústria e Comércio. Para rejeitar o Projeto de Lei, Alcântara argumentou que a nanotecnologia, no Brasil e no mundo, ainda é incipiente, com poucos resultados concretos, baixa incorporação por empresas e reduzido número de patentes. (ALCÂNTARA, 2005) Esse tipo de argumento é comum no país, cuja história recente revela uma opção por regulamentações tardias, após danos efetivados, em vez de uma política de precaução. (MOREIRA, 2006, p. 311)

Alcântara acredita que uma regulamentação da nanotecnologia será, sim, necessária, mas no futuro. Agora, ela elevaria o ‘custo Brasil’ e inibiria o fluxo de investimentos para o setor. Segundo ele, regulamentar a nanotecnologia significa impor obstáculos ao seu desenvolvimento e, assim, “o Brasil pode, mais uma vez, acabar por perder o bonde da História no difícil caminho para a retomada do crescimento econômico” (ALCÂNTARA, 2005, p. 6) Por enquanto, de acordo com o deputado, a nanotecnologia deveria ser tratada por leis já existentes, como a Lei nº 11.105/2005 (biossegurança); a Lei nº 9.872/1999 (vigilância sanitária); a Lei nº 9.065/1998 (crimes ambientais) e a Lei nº 9.279/1996 (propriedade industrial), entre outras.

Para o pesquisador Fernando Galembeck (Unicamp), referência em parceria universidade-empresa, a nanotecnologia requer regulamentação, mas o excesso de leis pode prejudicar o desenvolvimento científico-tecnológico. Os produtos nanotecnológicos, bem como quaisquer novos produtos, só devem ter seu uso disseminado após o conhecimento de seu ciclo de vida no ambiente e de suas propriedades toxicológicas. No entanto, esse tipo de precaução com a nanotecnologia não tem nada a ver com sua proibição, considerada totalmente absurda por Galembeck:

“Personagens e entidades importantes estão pleiteando medidas de moratória e banimento de produtos nanotecnológicos. As razões disto estão claramente vinculadas a uma grande quantidade de afirmações ridículas feitas por pseudo-ideólogos e popularizadores da nanotecnologia. Infelizmente, essas afirmações foram levadas a sério por muitas pessoas que estão em posição de criarem sérios embaraços à pesquisa, desenvolvimento e inovação em nanotecnologia. Algumas empresas se protegem disso fazendo pura e simples omissão de palavras ‘nano’, que de fato elas não precisam para descreverem seus produtos e processos.” (GALEMBECK; RIPPEL, 2004, p. 105)

Contudo, se, por um lado, empresas abolem o prefixo nano quando a nanotecnologia está na berlinda, por outro, há pesquisadores que incorporam o termo para exhibir que mexem com tecnologia de ponta. (SILVA, 2006, p. 343) Assim, como uma faca de dois gumes, a nanotecnologia segue acalentando polêmicos debates. “Não existe esse tipo de coisa: ‘nanotecnologia, você é a favor ou contra?’ Isso não faz sentido. O que é significativo e desejável é dar bons motivos para que se apoiem ou rejeitem projetos e trajetórias específicas da nanotecnologia” (ESCALANTE, 2006, p. 260).

### **10.3) OPINIÃO PÚBLICA**

A aceitação do público tem peso significativo no desenvolvimento da ciência e da tecnologia. A partir desse pressuposto, um grupo coordenado por Steven C. Currall, da University College London e da London Business School, conduziu o primeiro estudo empírico de larga escala que analisou a percepção do público sobre riscos e benefícios da nanotecnologia, além de compará-la com outras tecnologias (*Nature Nanotechnology*, vol. 1, dezembro/2006). Após consultarem por telefone cerca de 500 norte-americanos, os pesquisadores constataram que a nanotecnologia tem maior credibilidade entre o público do que os organismos geneticamente modificados, os pesticidas, os desinfetantes químicos e a engenharia genética humana. Além disso, uma consulta via web a cerca de 4500 consumidores dos Estados Unidos mostrou que eles, ao avaliarem um produto nanotecnológico, consideravam pontos negativos e positivos conjuntamente. Os participantes se mostravam mais preocupados com os riscos quando os benefícios do produto não eram tão pronunciados, ou seja, diante de grandes benefícios, os riscos preocupariam menos.

Esses resultados sugerem que a opinião pública ainda não tem preconceito em relação à nanotecnologia. Portanto, é hora de produzir e disseminar informações sólidas e transparentes sobre os riscos e os benefícios da nanotecnologia, para que as pessoas não criem uma percepção maniqueísta baseada em rumores e suposições. Na disseminação de tais informações, a mídia tem um papel importante, quiçá central.

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, Léo. *Projeto de Lei 5.076/2005 - Relatório e Voto do Relator*. 8 p. Disponível em <[www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=315967](http://www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=315967)>. Acesso em 18/06/2007.
- ALTMANN, Juergen. Nanotecnologia e a questão militar. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 35-41, 2006.
- COMIDA polêmica. *Revista O Globo*, Ciência e Vida, p. 42-44, 22/10/2006.
- CURRAL, Steven C. et al. What drives public acceptance of nanotechnology? *Nature Nanotechnology*, vol. 1, p. 153-155, dezembro/2006.
- CURVINEL, Paulo. A Embrapa, a Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio e a nanotecnologia/ Debate. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 205-213; 236-239, 2006.
- DALCOMUNI, Sônia Maria. Inter-relações fundamentais para o desenvolvimento sustentável. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 49-68, 2006.
- DUARTE, Edson. *Projeto de Lei 5.076/2005*. Disponível em <[www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=297210](http://www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=297210)>. Acesso em 18/06/2007.
- DURAN, Nelson. *Nanotecnologia para o meio ambiente*. São Paulo: I Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (I Seminariosoma), 2004. Disponível em <<http://nanotecnologia.incubadora.fapesp.br/portal/seminariosoma/SEMINANOSOMANELSONDURAMAPRESENTACAONanotec-inov-ambiente-200.ppt/view>>. Acesso em 03/12/2006.
- ENJEUX Ethiques des Nanosciences et Nanotechnologies. França: Comets/CNRS, 2006. Disponível em <[www.cnrs.fr/fr/presentation/ethique/comets/docs/ethique\\_nanos\\_061013.pdf](http://www.cnrs.fr/fr/presentation/ethique/comets/docs/ethique_nanos_061013.pdf)>. Acesso em 03/12/2006.
- ESCALANTE, José Manuel Cozar. Nanotecnologias e poder: em busca de uma nanoética. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 259-262, 2006.

- EXERCISE caution when using "nano-sealing sprays" containing a propellant!. Alemanha: Federal Institute for Risk Assessment (BfR), 31/03/2006. Disponível em <[www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7699](http://www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7699)>. Acesso em 18/06/2007.
- GALEMBECK, Fernando; RIPPEL, Márcia Maria. *Nanotecnologia: estratégias institucionais e de empresas*. Campinas: 109 p., outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7608.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7608.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- MARTINS, Paulo Roberto. Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. *Bate-papo Programado/ IPT*, 22/02/2006. Disponível em <[www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=206](http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=206)>. Acesso em 22/08/2006.
- MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, 344 p., 2006.
- MARTINS, Paulo. Comunicação oral no seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde/ Projeto Ghente. Rio de Janeiro: Ensp/Fiocruz, 23/03/2007.
- MAYNARD, Andrew D. et al. Safe handling of nanotechnology. *Nature*, vol. 444, p. 267-269, 16/11/2006.
- MOONEY, Pat Roy. Nanotecnologia, desestruturação produtiva e poder: um alerta para os cientistas sociais. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 165-173, 2006.
- MOREIRA, Eliane Cristina P. Debate/ Nanotecnologia e regulação: as inter-relações entre o Direito e as ciências. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 183-184; 309-313, 2006.
- NANO particles were not the cause of health problems triggered by sealing sprays!. Alemanha: Federal Institute for Risk Assessment (BfR), 26/05/2006. Disponível em <[www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7842](http://www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7842)>. Acesso em 18/06/2007.
- RATTNER, Henrique. A nanotecnologia e a política de ciência e tecnologia. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 174-181, 2006.
- RIBEIRO, Sílvia. O impacto das tecnologias em escala nano na agricultura e nos alimentos. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 197-204, 2006.
- SANTA-CRUZ, Petrus. Debate. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 233-234; 285-288, 2006.

- SILVA, Eronides. Debate. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminanosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 343-344, 2006.
- TOMELLINI, Renzo. Nanotecnologia: um ponto de vista da Europa. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminanosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 42-48, 2006.
- ZANONI, Magda. Abertura. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminanosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 27-31, 2006.

## CAPÍTULO 11: NANOQUÍMICA

A química e a medicina foram tão importantes quanto a astronomia e a física nos processos que conduziram à ciência moderna. É o que afirma Allen G. Debus, do Centro Morris Fishbein para a História da Ciência e da Medicina da Universidade de Chicago, em artigo publicado na revista *Ciência Hoje* (vol. 13, n. 77, 1991). Para Debus, a revolução química não está restrita a Lavoisier e ao século XVIII: ela se inicia no século XVI e perdura por dois séculos e meio.

No século XVI, Paracelso usava argumentos religiosos para condenar as idéias atéias de Aristóteles e Galeno e pregar a reforma do ensino. Paracelso fazia uma espécie de mistura entre religião e química, na medida em que ele imaginava "o Criador como um alquimista divino que separava o puro do impuro" (DEBUS, 1991, p. 36). Nessa época, química e alquimia ainda eram sinônimos.

Iniciada com Paracelso e causadora de intensos debates, essa filosofia de rejeição da Antiguidade e de ênfase na química foi abraçada, principalmente, por um grupo de médicos. Em oposição à medicina de Galeno, eles defendiam o uso da química na preparação de remédios. Esses remédios não encontraram muita resistência e seus benefícios, provavelmente, asseguraram a introdução da química nas escolas de medicina. Em 1609, na Alemanha, era criada a primeira cadeira de química em uma universidade européia.

“Em resumo, graças ao valor médico que nela se percebia, a química estava sendo aceita como um assunto acadêmico; e os novos professores da matéria deviam ensinar a preparação química de remédios. Certamente alguns deles se interessavam por temas mais místicos, mas, na sala de aula, essa não seria sua preocupação principal.” (Ibid, p. 38)

A medicina química ganharia novos rumos por volta de meados do século XVII, quando van Helmont introduziu o uso da química para explicar processos fisiológicos, isto é, a iatroquímica.

De acordo com Debus, a primeira fase da revolução química foi a aceitação dessa disciplina como uma parte da medicina nas universidades. A segunda fase foi o surgimento de uma química independente da medicina. A separação entre as duas áreas foi provocada, entre outros fatores, pelas críticas à iatroquímica. Entre os autores dessas críticas estava Boerhaave, segundo o qual os processos fisiológicos eram mais bem explicados pela física do que pela química. Foi, então, a química não-médica que se tornou o alvo dos trabalhos de Lavoisier, no século XVIII.

Esse breve resumo sobre a revolução química mostra essa disciplina, no século XVI, fortemente ligada às aplicações farmacêuticas. Já no século XVIII, a química aparece desvinculada das ciências médicas.

Nos dias de hoje, a química está, de novo, intimamente associada à medicina - e

também à biologia, à física, às engenharias etc. Essa associação multidisciplinar da química acontece, em especial, no âmbito da nanociência e da nanotecnologia. Entre as várias aplicações da nanoquímica destaca-se o desenvolvimento de medicamentos inteligentes, como drogas nanoencapsuladas, de liberação controlada, que agem em locais específicos do organismo, reduzindo as doses e os efeitos adversos. Isso demonstra que a nanoquímica tem um forte apelo farmacêutico, assim como a química do século XVI. Porém, não se trata de uma volta a um modelo do passado. Muito pelo contrário. Até porque a nanoquímica exhibe infinitos outros apelos, nos ramos de eletrônica, energia, agronegócio etc.

Cabe, aqui, refletir sobre as definições de química, nanoquímica, nanociência e nanotecnologia. Química é a ciência que trata da composição, estrutura e propriedades da matéria, a nível atômico e molecular, bem como das reações que se produzem entre os elementos ou as moléculas, seja espontaneamente, seja sob o efeito de agentes físicos, dando lugar à transformação de umas substâncias em outras (REY, 2003, p. 751) Já nanociência e nanotecnologia englobam projeto, manipulação, produção e montagem no nível atômico e molecular (CBPF/MCT).

A partir dessas definições, o termo nanoquímica, à primeira vista, soa como uma redundância, na medida em que toda a química é nano, isto é, tem como base o nível atômico e molecular. Porém, a nanoquímica pode ser considerada o resultado do refinamento das técnicas da química. Enquanto a química, tradicionalmente, lida com grande quantidade de átomos e moléculas, que se chocam aleatoriamente para gerar outras substâncias, a nanoquímica visa ao controle sobre átomos e moléculas isolados, para colocá-los em posições previamente definidas e, assim, construir novas estruturas com funcionalidades programadas. Esse conceito de nanoquímica, por sua vez, demonstra que ela é parte indissociável da nanotecnologia – uma área de pesquisa e desenvolvimento muito ampla na qual átomos e moléculas são usados na síntese controlada de nanopartículas, nanotubos, nanofibras e outros blocos de construção que vão compor dispositivos funcionais estruturados em escala nanométrica.

Sintetizar os blocos de construção é uma missão, sobretudo, da química, ou melhor, da nanoquímica, mas não é tarefa exclusiva dessa disciplina. Quanto a criar os dispositivos nanoestruturados a partir desses blocos, isso é um desafio ainda maior e certamente exige conhecimentos também de física, engenharia, biologia etc. É por isso que livros, artigos e quaisquer documentos que tratam da nanotecnologia, invariavelmente, abordam o caráter multidisciplinar dessa área. Toda essa discussão foi resumida por Henrique E. Toma, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), em artigo publicado na revista *Química Nova* (vol. 28, suplemento, 2005):

"A Nanotecnologia e Nanociências (N&N) vêm dando um impulso extraordinário à inovação e evolução do conhecimento, marcando presença em quase todas as revistas científicas da atualidade. Essa mudança, que tem

sido crescente desde a última década, já está sendo assimilada pela cultura científica universal, permeando as áreas de Física, Biologia e Materiais através da abordagem dos novos sistemas e propriedades na escala nanométrica e, portanto, molecular. Na Química, por razões óbvias, esse tipo de abordagem pode ser considerado intrínseco, se encarado sob o ponto de vista da Nanociência. De fato, átomos e moléculas são a essência da Química; contudo, apesar disso, a visão nanotecnológica, capaz de transformar os sistemas moleculares em nanodispositivos ou nanomáquinas, ainda é uma importante questão a ser trabalhada." (TOMA, 2005, p. S48)

Toma também destaca a diferença entre a matéria condensada - foco da química tradicional - e as moléculas discretas - foco da nanotecnologia. O autor cita o caso do benzeno, que, na forma condensada, é isolante, mas cuja molécula é condutora eletrônica.

"A linguagem quântica passa a ser real no mundo nanométrico. Assim, em virtude das novas propriedades e problemas decorrentes da dimensão nanométrica, a Nanotecnologia se apresenta como um notável desafio para o químico. Como produzir movimentos moleculares, a exemplo das miosinas que acionam os músculos? Como fazer computação molecular, acoplando o reconhecimento químico à geração de sinais, a exemplo das células neurais? Como aproveitar com eficiência a energia solar para produzir eletricidade ou armazenar energia química, mimetizando a fotossíntese? São exemplos de questões, centradas nas propriedades intrínsecas dos átomos e moléculas, que tornam possível a vida e que começam a ser exploradas ou desvendadas através da Nanotecnologia." (Ibid, p. S48)

Ao que tudo indica, o setor químico vem respondendo satisfatoriamente aos desafios impostos pela nanotecnologia: ele é um dos que mais produzem patentes na área. A participação dos químicos brasileiros deve ser estimulada com a "implantação de uma cultura nano nos currículos de graduação e pós-graduação, tendo em mente a geração de recursos humanos aptos para atuar na mais estratégica área do momento: a nanotecnologia" (Ibid, p. S51).

Lançado em 2005 pela Royal Society of Chemistry, o livro *Nanochemistry: A Chemical Approach to Nanomaterials* tem sido apontado como o primeiro livro-texto para o ensino da nanoquímica. Os autores Geoffrey A. Ozin e André C. Arsenault apresentam a seguinte definição:

"Nanoquímica é a utilização da química sintética para fazer blocos de construção em nanoescala de diferentes tamanhos e formas, composições e estruturas de superfície, cargas e funcionalidades. Estes blocos de construção podem ser úteis por direito próprio. Ou em um processo de construção por auto-montagem, espontâneo, dirigido por moldes ou guiado por padrões de superfície definidos química ou litograficamente, eles podem formar arquiteturas que desempenham uma função inteligente e têm um uso particular." (Apud PITCHER, 2006, p. 300)

A importância da auto-montagem é destacada no livro de Ozin e Arsenault: estruturas auto-montadas poderiam ser úteis em células-solares, computadores, baterias, sensores, catalisadores, cerâmicas, compósitos, células a combustível etc.

Por fim, cabe comentar um artigo que buscou identificar quais são as grandes

questões da química na atualidade. Publicado na revista *Nature* (vol. 442, 03/08/2006), o trabalho reúne os pontos de vista de vários químicos renomados. Em resumo, foram identificadas seis questões principais: Como projetamos moléculas com funções e dinâmicas específicas?; Qual é a base química da célula?; Como fazemos os materiais necessários para o futuro, em energia, aeronáutica e medicina?; Qual é a base química do pensamento e da memória?; Como a vida na Terra começou, e como e onde ela pode ter começado em outros mundos?; e Como podemos explorar todas as combinações possíveis de todos os elementos?. (BALL, 2006, p. 500-502) Embora o artigo, em nenhum momento, utilize o prefixo nano, chama a atenção como certas questões identificadas, especialmente a primeira e a terceira, estão relacionadas às potencialidades da nanoquímica, em particular, e da nanotecnologia, em geral.

## REFERÊNCIAS

- BALL, Philip. What chemists want to know?. *Nature*, vol. 442, p. 500-502, 03/08/2006.
- DEBUS, Allen G. A Longa Revolução da Química. *Ciência Hoje*, vol 13, n. 77, p. 34-43, outubro-novembro/1991.
- NANOCIÊNCIA e Nanotecnologia: Modelando o futuro átomo por átomo. Rio de Janeiro: CBPF/ MCT.
- PITCHER, Michael W. There's Still Plenty of Room at the Bottom. *Nature*, vol. 313, p. 300, 21/07/2006.
- REY, Luis. *Dicionário de Termos Técnicos de Medicina e Saúde*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 950 p., 2003.
- TOMA, Henrique E. Interfaces e organização da pesquisa no Brasil: da química à nanotecnologia. *Química Nova*, vol. 28, suplemento, p. S48-S51, 2005.

## **CAPÍTULO 12: DISCUSSÃO**

Antes de tecer qualquer comentário final neste trabalho - que objetivou traçar um panorama do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil -, cabe contar como a autora teve seu primeiro contato com o tema. Foi durante uma grande feira de ciências realizada em 2004 no Riocentro, da qual participaram diferentes universidades e institutos de pesquisa. Uma das principais atrações era um estande da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), batizado de NanoAventura. Dentro desse espaço, em um ambiente escuro com luzes coloridas piscando, as crianças eram divididas em dois times e tinham que cumprir três tarefas: montar um circuito eletrônico átomo por átomo, retirar as moléculas de impureza de uma placa e enviar medicamentos diretamente a uma célula cancerosa, sem afetar as células normais ao seu redor.

Para realizar as tarefas, as crianças jogavam grandes videogames, mas, enquanto brincavam, eram introduzidas aos conceitos e às potencialidades da nanotecnologia. A NanoAventura foi um sucesso: crianças, adolescentes e até adultos faziam fila para entrar na brincadeira. Na época, a autora era assessora de comunicação da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), organizadora da feira. A imprensa compareceu em peso ao evento e muitos jornalistas quiseram conhecer a NanoAventura e entrevistar seu coordenador, o físico Marcelo Knobel.

Após o evento, a autora ficou intrigada com o tema da nanotecnologia. O que ela havia visto na NanoAventura parecia saído de um filme de ficção científica e, até prova em contrário, aquilo não passava de brincadeira futurista. No entanto, acostumada a trabalhar com jornalismo científico, ficou atenta ao que jornais e revistas noticiavam sobre o assunto. Por isso, quando seu orientador de mestrado, o professor Carlos Filgueiras, do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), sugeriu que ela, como jornalista, pesquisasse um tema de história da ciência contemporânea, a nanotecnologia foi o objeto de estudo escolhido.

### **12.1) BRASIL FAZ PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA (E OS TEMAS SE ASSEMELHAM AOS ESTUDADOS NO EXTERIOR)**

Desde que começou a acompanhar o noticiário sobre nanotecnologia, a autora se deparou com matérias que falavam sobre pesquisas no exterior. Um exemplo é notícia publicada no jornal *O Estado de S. Paulo* em 11/04/2006, com os seguintes título e subtítulo: "Nanopartículas agem contra o câncer - Cientistas usam injeções de minúsculas partículas para atingir só células cancerosas, preservando as saudáveis". A reportagem conta que pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) e do Women's Hospital de Boston prepararam nanopartículas em formato de esponjas misturadas ao medicamento quimioterápico *docetaxel*. Com moléculas sinalizadoras em sua superfície, as

nanopartículas eram conduzidas às células cancerosas, mas não às normais. As nanopartículas contendo o medicamento foram injetadas em sete camundongos com tumores humanos na próstata. Os animais tratados com as nanopartículas sobreviveram, sendo que, em cinco deles, o tumor foi erradicado e, nos outros dois, o tumor teve redução significativa. O grupo controle – animais que apresentavam o tumor, mas não receberam o tratamento – morreu.

No entanto, a notícia do jornal *O Estado de S. Paulo* não menciona que linhas de pesquisa similares - que estudam a aplicação de nanotecnologia no tratamento do câncer - são desenvolvidas no Brasil. Também em abril de 2006, a revista *Pesquisa Fapesp* divulgou dois projetos de pesquisa realizados em parceria pelo Laboratório de Química Biológica e pelo Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES), ambos da Unicamp. Um dos estudos consistia justamente no desenvolvimento de um sistema nanotecnológico contra o câncer. (ERENO, 2006) Esse sistema envolve nanopartículas de ouro e violaceína, substância extraída da bactéria *Chromobacterium violaceum*, abundante no Rio Negro (AM). A violaceína é insolúvel em água e, para ser transportada em meio aquoso (organismo), foi associada à ciclodextrina. Mas a violaceína associada à ciclodextrina matava tanto as células cancerosas como as normais. Para aumentar a seletividade e acertar o alvo - somente as células cancerosas -, a solução foi usar nanopartículas de ouro, obtidas a partir de um processo que envolve uma substância que contém ouro, a ciclodextrina e um agente redutor. Diferentemente de quimioterápicos hoje disponíveis, o sistema com as nanopartículas de ouro age especificamente nas células cancerosas, o que foi verificado *in vitro* para células leucêmicas. O trabalho rendeu uma publicação no *Journal of Biomedical Nanotechnology* (vol. 1, n. 3, p. 352-358, setembro/2005), bem como um depósito de patente. (BRUM, 2005)

O Laboratório de Química Biológica e o LQES, coordenados, respectivamente, por Nelson Duran e Oswaldo Alves, também foram parceiros em um outro trabalho, que conseguiu produzir nanopartículas de prata usando fungos da espécie *Fusarium oxysporum*, que infecta a raiz de plantas e causa prejuízos a culturas como a da banana. Esse processo de transformação de íons prata em nanopartículas de prata metálica envolve uma redutase nitrato-dependente e uma quinona. As nanopartículas de prata têm propriedades bactericidas e, dessa forma, podem ser aplicadas na confecção de tecidos para curativos e meias (para combater odores desagradáveis). (ERENO, 2006)

Esses trabalhos coordenados por Duran e Alves demonstram que a nanotecnologia não é brincadeira futurista e que ela já chegou ao Brasil, pelo menos ao meio acadêmico. Outras provas disso são os trabalhos das redes de nanotecnologia (Capítulo 5), dos Institutos do Milênio (Capítulo 6), dos laboratórios nacionais e estratégicos (Capítulo 7) e dos pesquisadores entrevistados (Capítulos 4 e 9). Cabe, aqui, a pergunta: a nanotecnologia

feita no Brasil é de qualidade ou, em outras palavras, ela é competitiva no cenário internacional?

## 12.2) NOSSA PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA TEM VEZ NO CENÁRIO INTERNACIONAL

O estudo de Nelson Duran e Oswaldo Alves relativo à produção de nanopartículas de prata foi publicado no periódico *Journal of Nanobiotechnology* (vol. 3, n. 8, 2005). O artigo recebeu o status de *highly accessed*: já contabilizou mais de 3800 downloads (*LQES NEWS*, 16/02/2006), isto é, o trabalho já foi bastante consultado, porque deve ter despertado a atenção da comunidade científica nacional e internacional. Isso é um indício de que o Brasil faz, sim, nanotecnologia competitiva. E a maioria dos cientistas entrevistados concorda que o país tem pesquisas de qualidade nessa área. Há quem argumente que, se o Brasil é capaz de estabelecer parcerias internacionais em nanotecnologia (Capítulo 8), é porque nossos projetos oferecem vantagens. É longa a lista de indícios de que as pesquisas e os pesquisadores brasileiros em nanotecnologia têm destaque no contexto mundial. A seguir, alguns exemplos:

- Um projeto sobre separação de nanotubos de carbono recebeu em 2006 o prêmio Collaboration Success Award, concedido pelo Council for Chemical Research, dos Estados Unidos, e destinado a pesquisas de alto nível, que envolvam os setores acadêmico e industrial na área de química. O projeto premiado é uma colaboração entre a empresa DuPont, o MIT e as universidades de Illinois e do Texas. Entre os membros da equipe, está a brasileira Adelina Santos, da Rede Nacional de Pesquisas em Nanotubos de Carbono. (*LQES NEWS*, 17/07/2006)
- Físicos brasileiros, do Instituto de Física da UFRJ, e alemães, do Instituto Max-Planck em Dresden, fizeram, pela primeira vez, medições diretas do "emaranhamento" - propriedade sutil das partículas quânticas. Isso pode ajudar na construção dos futuros computadores quânticos. Átomos e fótons "emaranhados" transmitiriam informação de modo mais rápido e eficiente, se comparados aos chips eletrônicos. (*BONALUME NETO*, 2006)
- Três físicos brasileiros ganharam destaque internacional por seus estudos sobre o nanofio de ouro. Edison Zacarias da Silva, Antônio José Roque da Silva e Adalberto Fazzio, o primeiro da Unicamp e os outros dois da Universidade de São Paulo (USP), tiveram seu trabalho reconhecido nas páginas da *Science*, em 2003, quando a prestigiada revista classificou-o como "a melhor literatura mundial em ciência de materiais". (Apud *Cenário XXI*, 29/08/2004, p. 6) Em 2001, os três assinaram um artigo que explicava como um nanofio de ouro se rompe e que foi capa da revista *Physical Review Letters* (vol. 87, n. 25, 2001). Outro artigo assinado por Fazzio,

sobre nanotubos de carbono, foi capa do periódico *Applied Physics Letters* (vol. 86, 213111, 2005).

- Uma nanoliga metálica foi observada diretamente pela primeira vez e o trabalho - publicado na *Nature Nanotechnology* em dezembro de 2006 - é assinado por pesquisadores de três instituições brasileiras: Unicamp, Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) e Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Eles conseguiram produzir nanofios de uma liga metálica de ouro e prata. "Como em todo bom trabalho pioneiro, várias questões surgem a partir dele" e elas "só poderão ser respondidas com trabalho árduo e avanços instrumentais realizados por diferentes laboratórios do mundo, motivados, sem dúvida, pelo trabalho feito pelos pesquisadores aqui no Brasil". (FAZZIO; SILVA, 2007, p. 11)
- O Prêmio Elsevier, concedido por um grande grupo editorial holandês, já foi conquistado pelo físico Lázaro Aurélio Padilha Junior, da Unicamp, por seu trabalho com nanocristais semicondutores ou pontos quânticos. (MARTINELLI, 2004, p. 7)
- Belita Koiller, do Instituto de Física da UFRJ, que realiza estudos teóricos relacionados à nanotecnologia, já foi uma das ganhadoras do Prêmio L'Oréal-Unesco para Mulheres na Ciência. (*L'oréal Brasil - Notícias*, 04/03/2005)

"A produção científica brasileira na área de nanotecnologia é bastante significativa, qualificada e diversificada." (ALVES, 2005b) Mas como as pesquisas nacionais em nanotecnologia atingiram o padrão internacional? Para responder à pergunta, a primeira pista é que essas pesquisas não são tão recentes assim, conforme demonstrado no Capítulo 4.

"Mesmo sem a presença de recursos financeiros específicos num primeiro momento, a comunidade científica brasileira, de forma madura, teve sensibilidade para dar à nanotecnologia a importância que ela merece. Essa situação permitiu o significativo crescimento que a produtividade científica em nanotecnologia vem registrando desde 1995." (Ibid, 2005b)

O governo federal começou a investir em nanotecnologia de forma específica a partir de 2001, quando saiu o primeiro edital do CNPq para a área. Contudo, de dez a 20 anos antes disso, cientistas brasileiros já se familiarizavam com a nanoescala e seus efeitos. Só que estes projetos de pesquisa ainda não levavam o prefixo nano.

Quando os Estados Unidos anunciaram seu programa de nanotecnologia, na virada para o século XXI, o termo entrou na moda em todo o mundo. No Brasil, quem já atuava na área adicionou o prefixo nano aos títulos de seus projetos, e pesquisadores que ainda não estavam envolvidos com o tema se sentiram estimulados a participar da novidade. A partir de então, tudo o que levava o prefixo nano, mesmo aquilo que não era genuinamente nanotecnologia nem nanociência, tornou-se um tópico quente nos meios acadêmicos. Em

outras palavras, a nano virou moda, a exemplo do que já havia ocorrido com outros temas, como a óptica não-linear e a química do petróleo.

Porém, antes da moda, já havia grupos de pesquisa atuando, de fato, em nanociência e nanotecnologia, muitos deles associados a programas de pós-graduação, o que ajudou a multiplicar os recursos humanos e os artigos científicos na área, conforme demonstram inquéritos conduzidos pelo professor Oswaldo Alves, da Unicamp (Capítulo 9). Além de formar novos cientistas e gerar conhecimentos, esses grupos pioneiros foram criando infra-estrutura e facilidades instrumentais para pesquisa na nanoescala<sup>1</sup>. Eles pertenciam a diferentes disciplinas (química, física, biologia, engenharia etc), o que certamente contribuiu para o fortalecimento da nanotecnologia, que é, em essência, transdisciplinar. Hoje, o Brasil conta cerca de 3 mil pesquisadores na área, e a grande maioria deles continua nas universidades. (ALVES, 2005a)

### **12.3) FASES DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL**

A autora desta dissertação identificou três fases do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. A primeira fase começa nos anos 80 (de meados para o final), quando a palavra nanotecnologia ainda era desconhecida por aqui, mas cientistas enveredaram pela área por diversas razões, sendo a principal delas a evolução<sup>2</sup> de linhas de pesquisa que exigiam a manipulação e o controle da matéria em escalas cada vez menores (Capítulo 4).

A segunda fase se concentra entre 2000 e 2002, quando o governo federal, em especial o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), é impelido a agir devido à visibilidade adquirida pela nanotecnologia após o anúncio do programa norte-americano. Esse período se caracteriza pelas tentativas de 'botar ordem na casa', isto é, mapear as competências e facilidades de pesquisa já existentes e organizá-las em redes temáticas.

Por fim, a terceira fase se iniciou por volta de 2003 e dura até hoje. Nessa etapa, o foco é a nanotecnologia como instrumento a favor da inovação e do aumento da competitividade nacional. Como visto no Capítulo 9, o período é marcado mais por um discurso pró-inovação do que por uma prática efetivamente inovadora em nanotecnologia. Conforme será discutido a seguir, embora o discurso ainda seja mais forte do que a prática, iniciativas dirigidas para concretizar a inovação começam a ser percebidas, assim como o desenvolvimento de alguns produtos. Espera-se que, em breve, essas iniciativas tomem rumos mais bem definidos, o que envolve selecionar, dentro do amplo universo da nanotecnologia, quais temáticas são prioritárias para o país.

Dessa forma, os resultados desta dissertação indicam que a quarta etapa do desenvolvimento da nanotecnologia pode ter início já nos próximos anos. A nova fase será caracterizada pela consolidação dos primeiros frutos da inovação industrial proporcionada

pela nanotecnologia e por uma avaliação mais realista de seus impactos econômicos e sociais. Como será abordado adiante, essa inovação, provavelmente, não seguirá as promessas revolucionárias: ela será incremental.

#### **12.4) NANOTECNOLOGIA EM REDES: MAIS COM MENOS**

No Brasil, as reclamações sobre verbas limitadas para ciência e tecnologia são recorrentes e com a nanotecnologia não é diferente. Uma estratégia encontrada para contornar o problema dos poucos recursos foi a criação de redes de pesquisa - uma tendência mundial em diversas áreas do conhecimento. Nas grandes redes de nanotecnologia criadas no Brasil - quatro pelo Edital CNPq Nano nº 01/2001, dez pelo Edital MCT/CNPq nº 29/2005 e quatro Institutos do Milênio -, grupos de diferentes instituições com interesses afins desenvolvem projetos em conjunto, fazem intercâmbio para treinamento de recursos humanos, e compartilham resultados, experiências, infra-estrutura e outras facilidades de pesquisa. Em tese, o que as redes fazem não é nenhuma grande novidade: trata-se, em última análise, do estabelecimento de parcerias. As redes, no entanto, têm dois diferenciais: a magnitude e a distribuição dos recursos.

Quanto à magnitude, as redes de nanotecnologia se destacam, em geral, por uma maior dimensão. Elas chegam a envolver duas dezenas de instituições, públicas e privadas, dos setores acadêmico e industrial. Essas grandes dimensões, por sua vez, impõem desafios quanto à distribuição dos recursos, relativamente insuficientes. Nas redes de nanotecnologia, o governo federal, por meio de chamadas do CNPq, destina uma quantia para o conjunto dos projetos das instituições participantes e cabe à coordenação das redes decidir como serão divididos os recursos e prestar contas dos resultados. Coordenar uma rede, portanto, se torna um trabalho árduo, devido ao grande número de participantes. A coordenação fica ainda mais delicada porque, em geral, ela é feita por cientistas que se tornaram administradores mais por força das circunstâncias do que por escolha ou formação. Cabe salientar que os projetos inseridos nas redes de nanotecnologia acabam se beneficiando de recursos diversos, além do dinheiro proveniente da chamada do CNPq. Cada projeto, individualmente, pode concorrer aos recursos de outros editais do MCT ou das Fundações de Amparo à Pesquisa dos Estados, assim como ser contemplado com parte do orçamento das instituições envolvidas. Mesmo assim, o volume dos recursos para nanotecnologia no Brasil é baixo, se comparado aos investimentos feitos pelos países líderes.

Três das quatro redes do Edital CNPq Nano nº 01/2001, em tese, foram extintas em 2005 (Rede NanoSemiMat; Rede Nanobiotec; e Rede Nanomat). Somente uma delas (Renami) teve sua continuação oficial e integralmente contemplada pelo Edital MCT/CNPq nº 29/2005. Este, no entanto, também contemplou iniciativas que, de alguma forma, deram

continuidade às outras três redes de 2001. Sendo assim, as novas redes criadas não eram tão novas assim: Eudenilson de Albuquerque, da Universidade Federal do Rio Grande Norte (UFRN), coordenador da nova Rede Nacional de NanoBiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados (NanoBioEstruturas), participava da antiga Rede NanoSemiMat; Silvia Guterres, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), coordenadora da nova Rede Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas, participava da antiga Rede Nanobiotec; Adalberto Fazzio, da Universidade de São Paulo (USP), coordenador na nova Rede Simulação e Modelagem de Nanoestruturas, participava da antiga Rede Nanomat.

Destaca-se que, assim como a nanotecnologia virou um tópico quente, a criação de redes na área também se transformou em uma espécie de modismo. Além dos Institutos do Milênio e das redes estabelecidas a partir do Edital CNPq Nano nº 01/2001 e do Edital MCT/CNPq nº 29/2005, outras iniciativas menores - com menos parceiros, recursos e visibilidade - também foram batizadas de redes, conforme mostram o Item 5.6 do Capítulo 5 e as Tabelas 2 e 3.

## **12.5) SÃO PAULO E ALÉM**

Das quatro redes criadas pelo Edital CNPq Nano nº 01/2001, duas tinham sede na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Esta instituição é um reconhecido pólo de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia, como foi demonstrado ao longo dos capítulos desta dissertação. O dado chama a atenção, na medida em que comprova a existência de trabalhos importantes de nanotecnologia fora do Sudeste ou Sul do país.

Iniciativas de nanotecnologia com participação de outras instituições das regiões Nordeste, Norte e Centro-oeste também foram mencionadas nesta dissertação. Uma explicação óbvia está relacionada a editais do CNPq que, como visto no Capítulo 3, reservam parte dos recursos para projetos propostos por instituições de fora das regiões Sudeste e Sul. Essa reserva de recursos em editais é uma política dirigida à redução das desigualdades regionais por meio do fortalecimento da ciência e tecnologia no Nordeste, Norte e Centro-oeste.

Muitas iniciativas de nanotecnologia no Brasil mencionam, entre seus objetivos, o fortalecimento de grupos de pesquisa emergentes e estes grupos, em geral, são oriundos daquelas três regiões ou de instituições pouco conhecidas do Sul e Sudeste. E as ações para fortalecer os grupos emergentes consistem, muitas vezes, em treinamento para seus recursos humanos.

Existe, portanto, um movimento no sentido de se incentivar o desenvolvimento regional e a consolidação de grupos emergentes em nanotecnologia. Mas também existe um certo continuísmo nas ações de nanotecnologia. Instituições como Unicamp e USP continuam e, ao que tudo indica, continuarão liderando o ranking de pesquisa e

desenvolvimento em nanotecnologia no Brasil. Foi observado também que os mesmos nomes se repetem na liderança de mais de um projeto e que um mesmo grupo de pesquisa integra mais de uma rede.

O professor Fernando Lázaro Freire Júnior, do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), além de membro da Rede de Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes (Namitec), coordena a Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados e o Instituto Virtual de Nanociência e Nanotecnologia. O Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES) da Unicamp pertence ao Instituto do Milênio de Materiais Complexos (Fase II); à Rede Nacional de Pesquisas em Nanotubos de Carbono; à Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces (Renami); e à Namitec.

Uma explicação possível é que a aprovação de um projeto pelo CNPq, muitas vezes, estaria condicionada ao peso do nome do pesquisador que propõe aquele projeto. Dessa forma, somente um seleto grupo de profissionais teria o currículo e o renome necessários para a aprovação de financiamentos para os projetos. Soma-se a isso o fato de que, embora o tamanho da comunidade científica em nanotecnologia tenha aumentado, ainda não há no Brasil tantos profissionais especializados na área.

É necessário lembrar, contudo, que o continuísmo observado não é algo ruim necessariamente. Manter o elevado nível das pesquisas em instituições como Unicamp e USP, obviamente, é essencial! Além disso, um mesmo grupo de pesquisa participar de várias iniciativas pode significar que ele está bem articulado com os outros grupos afins e isso é positivo, pois concentra os esforços e os recursos, em vez de diluí-los. Um desafio é incluir na articulação não só os grupos já estabelecidos, mas também os emergentes, ou seja, capacitar mais gente para o trabalho com nanotecnologia.

Outro desafio é que, apesar da relevância das chamadas para a formação de grandes e pequenas redes, o apoio a projetos individuais de nanotecnologia não pode ser esquecido, e isso envolve conceder financiamento para quem ainda não é tão consagrado na carreira científica. Jovens pesquisadores, ao concluírem o doutorado em universidades renomadas, muitas vezes, vão atuar em instituições menos conhecidas e lá visam formar novos grupos de pesquisa, o que gera uma demanda de financiamento para projetos individuais. Já existem ações que visam cumprir esse desafio, como o Edital MCT/CNPq nº 28/2005, que selecionou projetos de jovens pesquisadores, com até cinco anos de doutoramento, inclusive na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na Universidade Estadual de Maringá (UEM) e na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), entre outras tentativas de inclusão citadas ao longo desta dissertação.

Assim, grupos de menor tradição começam, pouco a pouco, a se envolver com a nanotecnologia. Destacam-se, por exemplo, iniciativas relativas ao Centro Estratégico de

Tecnologia do Nordeste (Cetene) e ao Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus (CT-PIM). Destacam-se, também, iniciativas relativas a instituições que, apesar de localizadas no Sul e Sudeste, são pouco conhecidas. É o caso do Centro Universitário Franciscano (Unifra), em Santa Maria (RS).

Solange Fagan, professora da Unifra e pesquisadora de nanotecnologia, foi uma das seis brasileiras contempladas em 2006 com a Bolsa Auxílio para Jovens Cientistas - patrocinada pela L'Oréal com o apoio da Academia Brasileira de Ciências (ABC). Solange, premiada por seu estudo de nanoestruturas de carbono de interesse químico e biológico, agradeceu o prêmio com as seguintes palavras:

"Esse prêmio foi muito importante não só pelo valor, mas também porque mostrou para a minha instituição e para os alunos da minha região que o reconhecimento não se dá só no eixo Rio-São Paulo. Foi muito interessante, porque eles vislumbraram algo que parecia impossível, o prêmio mostrou que se você é esforçado, dedicado, é bom pesquisador, pode se destacar em qualquer lugar do Brasil." (Apud *Boletim do Acadêmico/ABC*, 27/09/2006)

Solange - que fez graduação, mestrado e doutorado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e já atuou como professora visitante na Universidade Federal do Ceará (UFC) - é hoje coordenadora do Curso de Mestrado em Nanociências da Unifra. Este é o primeiro do gênero no país e começou a funcionar em 2007, com duas linhas de pesquisa: desenvolvimento e caracterização de sistemas bioativos e nanoestruturados; e modelagem e simulação de biosistemas e nanomateriais. (*LQES NEWS*, 16/01/2007a)

## **12.6) A PESQUISA VAI BEM. E A INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA?**

De modo geral, os documentos consultados e os cientistas entrevistados pela autora desta dissertação têm uma visão otimista das pesquisas em nanotecnologia feitas no Brasil, embora reconheçam que existem carências e limitações em algumas áreas, como a micro/nanoeletrônica, por exemplo. Os resultados obtidos pelas redes são considerados muito bons e bastante animadores. Entretanto, um aspecto interessante identificado pela autora desta dissertação é que os resultados das redes são apresentados, quase sempre, de forma quantitativa. Os documentos e os entrevistados se referem ao número de pesquisadores participantes, ao número de alunos de mestrado e doutorado formados, ao número de artigos científicos publicados, ao número de pedidos de patente depositados etc.

Resumir os resultados em números e julgar que quanto mais melhor são práticas relativamente comuns no sistema de ciência e tecnologia. Por ter feito um ano de estágio em biologia experimental e atuar no jornalismo científico há mais de cinco anos, a autora desta dissertação, ao longo de sua vida profissional, já teve inúmeras experiências com pesquisadores que realizaram um estudo e fragmentaram os resultados em duas ou três publicações diferentes. Pesquisadores fazem isso porque são cobrados: em geral, um maior

número de artigos científicos publicados significa receber uma melhor avaliação pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) ou pelo CNPq e ter mais êxito profissional e maior financiamento para projetos de pesquisa. Ao que tudo indica, a preocupação em publicar muitos artigos também atinge pesquisadores de nanotecnologia.

Nesse contexto, cabe comentar o caso do Estudo Nanotecnologia, uma publicação lançada em 2007 pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República. O estudo foi apresentado na imprensa como uma novidade e a publicação, de fato, reúne uma série de informações preciosas. Mas a questão é que o estudo é composto por documentos que já se encontravam disponíveis na internet, no *site* do MCT.

Quanto às referências qualitativas aos resultados dos trabalhos em nanotecnologia feitos no Brasil, elas geralmente repetem conquistas consagradas. As línguas eletrônicas e os nanodosímetros de UV são mencionados por diversos documentos e entrevistados. E essas conquistas, embora relevantes, não são tão recentes: patente relativa à língua eletrônica da Embrapa foi depositada em 2001 e o dosímetro n-Domo surgiu a partir de uma tese de doutorado defendida em 2002 na UFPE.

Apesar de tudo, os resultados das pesquisas em nanotecnologia no Brasil são considerados não só satisfatórios, mas também competitivos no cenário mundial, como já foi explicado. Uma crítica recorrente à nanotecnologia no Brasil é que ela vai bem na pesquisa, mas não na inovação<sup>3</sup>. De fato, as empresas do país não têm larga tradição de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, e alguns críticos apontam a falta de uma cultura da inovação. Wanderley Marzano, presidente da Aegis Semicondutores e diretor de tecnologia da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, exemplificou essa ausência de uma cultura da inovação:

“Se eu estivesse numa indústria de embalagens, não olharia para o plástico nanotecnológico que muda de cor para indicar a oxidação do produto e indicar o final do prazo de validade. Procuraria pesquisar e desenvolver um material que impedisse a oxidação.” (Apud *Inovação Unicamp*, 02/10/2006)

Contudo, se a cultura da inovação ainda não se estabeleceu, o discurso pró-inovação em nanotecnologia é recorrente, sobretudo a partir de 2005. Embora discurso não signifique prática, ele pode ser encarado, no mínimo, como um primeiro passo para uma mudança de postura. É esse discurso pró-inovação que, pouco a pouco, vem aproximando os setores acadêmico e industrial. Alguns pesquisadores, como Oswaldo Alves, da Unicamp, e Henrique Toma, da USP, contam que fizeram palestras sobre nanotecnologia para empresários e que, a partir desses contatos, surgiram possibilidades de trabalho cooperativo. Isso indica que as culturas da universidade e da empresa não são forças antagônicas.

No entanto, há quem diga que a nanotecnologia brasileira ainda não saiu do meio acadêmico e que, portanto, ela ainda não chegou à indústria. Tal ponto de vista parece demasiado radical e ignora iniciativas de certas empresas:

- O Boticário investiu R\$ 14 milhões em três anos para pesquisar e desenvolver os 19 cremes que compõem a linha Active, de cuidados para o rosto. Segundo o *site* da empresa, o Vitactive Nanoserum Anti-sinais - à venda por R\$ 89,00 - tem "nanotecnologia avançada", o que confere ao produto "uma distribuição mais homogênea e eficaz dos ingredientes ativos nas camadas da pele". ([www.oboticario.com.br](http://www.oboticario.com.br))
- Na área petroquímica, a Braskem investe R\$ 30 milhões por ano em pesquisa e desenvolvimento (BARLEM, 2006), o que já rendeu nanocompósitos cujas propriedades diferenciadas podem ter aplicações em 'embalagens inteligentes', que aumentam o prazo de validade dos alimentos, e na indústria automotiva, para a confecção de peças mais resistentes, entre outras. (PIRES, 2006)
- A nanotecnologia também está presente em um produto desenvolvido pelas Indústrias Químicas Taubaté (IQT) e já comercializado há dois anos. (BUENO, 2005) O produto é o Taubarez T-940, descrito no *site* da empresa como "uma dispersão aquosa aniônica de copolímero de estireno butadieno carboxilado" ([www.iqt.com.br](http://www.iqt.com.br)). De aspecto branco leitoso e com características como alto poder de absorção, resistência à água e ao óleo, estabilidade mecânica e compatibilidade com pigmentos, o Taubarez T-940 pode ser aplicado, por exemplo, no papel usado em embalagens de alimentos congelados. Assim, as embalagens não se desfazem quando os alimentos descongelam. De acordo com o *site* da empresa, o Taubarez T-940 "não apresenta risco à saúde", mas se recomenda "evitar contato prolongado com a pele". Fabricante de produtos usados pelas indústrias de tapetes, papel, calçados, tecidos, fármacos e construção civil, entre outras, a IQT, em parceria com universidades, tem outros dois projetos de pesquisa em nanotecnologia, iniciados em março de 2005. Os trabalhos são financiados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), com contrapartida da empresa. Um deles é realizado com a Unicamp e visa à produção de retículos catiônicos (partículas de polímeros com carga elétrica positiva dispersas em água). O outro é realizado com a Faculdade de Engenharia Química de Lorena (Faenquil) e visa à produção de retículos híbridos (partículas de polímeros e de argila dispersas em água).<sup>4</sup>
- Primeira multinacional brasileira do setor têxtil, com fábricas no Brasil, Chile e Argentina, a Santista lançou a etiqueta NanoComfort, que identifica tecidos com nanotecnologia. Estes apresentam absorção e secagem mais rápida do suor,

resistência a manchas e propriedades antimicrobianas, entre outras características que, segundo a empresa, permanecem no tecido mesmo após lavagens. Os primeiros tecidos que levam a nova etiqueta são o Technopolo e o Image, destinados à confecção de roupas profissionais. A Santista já planeja também o lançamento do Lotus Effectt, um tipo de tecido auto-limpante. A empresa realiza projetos em nanotecnologia desde 2003 e mantém parcerias com universidades, como a USP de São Carlos, além de se beneficiar da Lei de Inovação. (*Santista Têxtil - Notícias*, 08/11/2006)

- Um polipropileno com nanotecnologia foi lançado pela Suzano Petroquímica na Nanotec Expo 2006. Durante a exposição, foram distribuídos brindes, como uma tábua de carne feita de polipropileno nanoestruturado com prata, o que lhe confere propriedade antimicrobiana. A Suzano investe 1,5% de seu faturamento total em pesquisa e desenvolvimento, assim como na contratação de cientistas. (*Suzano Petroquímica*, 07/11/2006) Também está em desenvolvimento pela empresa uma tecnologia de nanopartículas de cerâmica agregadas ao polipropileno, o que confere ao material maior rigidez e capacidade de bloquear a passagem de gases, propriedades úteis, por exemplo, aos setores automotivo e de embalagens. Além disso, em parceria com a UFRJ, a Suzano tem um projeto que visa a um material antichama. (SANT'ANNA; AZEVEDO, 2006)
- A empresa mineira Suggar colocou no mercado brasileiro em 2007 a primeira máquina de lavar com nanotecnologia, que promete deixar as roupas mais limpas, livres de bactérias. Isso porque a máquina é fabricada com uma resina de polipropileno nanoestruturado com prata, material fornecido pela Suzano Petroquímica. (*Jornal da Ciência*, 05/06/2007)
- Empresa brasileira de produtos elétricos profissionais para cabeleireiros, a Taiff tem um secador de cabelos com nanotecnologia Nanox Clean. À venda no *site* Mercado Livre, o aparelho Taiff Titanium foi lançado durante a edição 2006 da Beauty Fair (Feira Latino-Americana de Cosméticos e Beleza). Ele contém nanopartículas de titânio que combatem bactérias e fungos e proporcionam um jato de ar mais puro. "O resultado é uma secagem mais higiênica e cabelos mais limpos", segundo o *site* da Taiff. (<[www.taiff.com.br](http://www.taiff.com.br)>)
- A nanotecnologia incorporada ao Taiff Titanium foi criada pela Nanox, empresa que desenvolve revestimentos nanoestruturados para tratamento de superfícies e obtenção de propriedades específicas. A Nanox foi fundada em 2004 por três jovens químicos com R\$ 2,1 milhões da Fapesp e do CNPq. Em 2006, o fundo de capital de risco Novarum entrou no negócio (o Novarum é um fundo de capital semente do qual a Finep é cotista). Com 15 funcionários e um faturamento de R\$ 500 mil em 2006, a

Nanox faz parcerias para agregar nanotecnologia aos produtos de grandes empresas e tem como metas aumentar a escala de produção e fornecer insumos para produtos populares. (BARIFOUSE, 2007) A Nanox também tem parceiros acadêmicos, como o Centro Multidisciplinar de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Araraquara. (<[www.nanox.com.br](http://www.nanox.com.br)>)

Mais ou menos no estilo da Nanox, pequenas empresas que mantêm vínculos com o setor acadêmico – ou mesmo nascem dentro de uma universidade – e oferecem soluções tecnológicas sob medida para empresas maiores podem ser uma tendência, tanto em nanotecnologia como em outros campos. Essas pequenas empresas viriam preencher a lacuna causada pela falta de tradição em pesquisa e desenvolvimento no setor produtivo nacional. Elas entrariam com a expertise em pesquisa e desenvolvimento para gerar produtos encomendados pelos clientes, isto é, pela empresas maiores, que responderiam pela escala de produção, colocando inovações no mercado.

Contemplada com cerca de R\$ 15 mil do Edital CT-Biotecnologia/MCT/CNPq 058/2005, a Nanobrax, que conta com importante contribuição do Laboratório de Fotoquímica (Lafot) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), é uma dessas pequenas empresas que pretendem se estabelecer no mercado como prestadores de serviços em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Consultor científico da Nanobrax e professor da UFU, Antonio Eduardo da Hora Machado explica a motivação para constituir a empresa:

"A idéia de construir uma empresa de base tecnológica surgiu da constatação de que há uma grande carência no setor produtivo brasileiro, no que concerne a inovações tecnológicas, frutos de pesquisa e desenvolvimento local. Diante dessa realidade, existe uma grande oportunidade para a criação de empreendimentos especializados no setor de pesquisa e desenvolvimento, que possam oferecer soluções tecnológicas para empresas que, na maioria das vezes, devido a razões econômicas, não mantêm um setor de pesquisa e desenvolvimento próprio." (MACHADO, 2006, p. 4)

A Nanobrax ainda não apresenta faturamento, mas ela já teria sido procurada, por exemplo, pela empresa Emplastic Ltda, interessada em um polímero biodegradável para acondicionamento de produtos veterinários.

A nanotecnologia está chegando ao mercado nacional. Nos Estados Unidos, estima-se que já existem no mercado cerca de 380 produtos com nanotecnologia (SERVICE, 2007, p. 926) e há quem aposte que esse número pode chegar a 800 ou mais em todo o mundo. (DURAN, 2007) Na internet, o *site* do Project On Emerging Nanotechnologies: Inventory of Nanotechnology Consumer Products, vinculado ao Woodrow Wilson International Center for Scholars, se propõe a listar e descrever os produtos de consumo baseados em nanotecnologia disponíveis no mercado, e estes já seriam mais de 450. (<[www.nanotechproject.org/44](http://www.nanotechproject.org/44)>)

A questão é que nem todo produto que contém o prefixo nano no rótulo é, de fato, nanotecnológico. Por outro lado, um produto pode conter nanopartículas e não informar isso em seu rótulo. Como ainda não existe um amplo conhecimento do que seja nanotecnologia por parte de consumidores e reguladores, as empresas usam ou não o prefixo nano de acordo com seus interesses. (GOUVEIA, 2006) Elas utilizam o termo quando julgam que ele aumenta o valor do produto percebido pelo consumidor e omitem-no se acharem que ele pode gerar desconfiança no consumidor quanto a possíveis riscos. Nos equipamentos eletrônicos, acredita-se que a nanotecnologia seja encarada como sinônimo de tecnologia de ponta, de modo que o uso do prefixo nano tenderia a agregar valor ao produto, como no caso do iPod Nano, da Apple, anunciado em encartes de lojas tão populares como a Casa & Vídeo. O iPod realmente contém nanotecnologia. "Trata-se de nanoeletrônica, pois a estrutura emprega não só dimensões nanométricas como o mecanismo quântico de tunelamento de elétrons." (SWART, 2007)

### **12.7) O QUE O CIDADÃO ACHA DA NANOTECNOLOGIA**

No Brasil, ainda não foram divulgados dados de pesquisas sobre como o público geral encara a nanotecnologia. O MCT, em parceria com a Academia Brasileira de Ciências, promoveu a pesquisa Percepção Pública da Ciência e Tecnologia. Coordenada pelo Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia/MCT e pelo Museu da Vida/Fiocruz, o estudo tinha como objetivo principal avaliar o interesse, o grau de informação e as atitudes dos brasileiros em relação à ciência e à tecnologia. Mais de dois mil adultos foram entrevistados: 41% disseram ter muito interesse por ciência e tecnologia, sendo os assuntos preferidos informática e computação, novas descobertas da ciência e novas tecnologias, nesta ordem. Contudo, 73% relataram se informar pouco ou nada sobre ciência e tecnologia. A principal razão apontada pelos entrevistados foi que não entendiam esses assuntos. Além disso, 84% responderam que não conheciam nenhuma instituição dedicada a fazer pesquisa científica no Brasil. (MCT, 2007, p. 65) Não espantaria, portanto, se os brasileiros não soubessem o que é nanotecnologia e se também desconhecessem que essa tecnologia vem sendo pesquisada e desenvolvida no país.

Ainda de acordo com a pesquisa Percepção Pública da Ciência e Tecnologia, 46% dos entrevistados julgavam que a ciência e a tecnologia trazem mais benefícios do que malefícios para a humanidade e 28% acreditavam que elas só trazem benefícios. (Ibid, p. 46) Esses dados chamam a atenção: afinal, caso as pessoas estejam demasiadamente otimistas em relação à ciência e à tecnologia, quando expostas aos discursos mais inflamados de alguns entusiastas da nanotecnologia, podem enxergá-la como solução de todos os problemas. Não que as pessoas devam fazer oposição à nanotecnologia. Não é isso. Na verdade, o que se deseja é que tenham senso crítico em relação aos usos da

nanotecnologia e seus possíveis impactos na saúde, no meio ambiente e na sociedade. Para que a população desenvolva esse senso crítico, lembra-se, mais uma vez, que a imprensa tem grande responsabilidade. Maior ainda se considerarmos que são os jornalistas, ao lado dos médicos, os profissionais que inspiram maior confiança como fontes de informação, segundo a pesquisa do MCT. (Ibid, p. 43)

É importante, portanto, que a nanotecnologia seja debatida pela sociedade brasileira. Com esse objetivo, surgiu o projeto Engajamento Público em Nanotecnologia, aprovado pelo Edital MCT/CNPq nº 12/2006 (Seleção Pública para Apoio a Projetos de Difusão e Popularização da Ciência e Tecnologia). Coordenado pelo sociólogo Paulo Martins, também à frente da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), o projeto promoverá a divulgação científica da nanotecnologia por meio de programas semanais, veiculados pela internet, de modo que debatedores e audiência pré-selecionada (escolas, sindicatos, ONGs etc) estejam conectados e haja interatividade. O objetivo da iniciativa, ainda em fase inicial, é justamente despertar na sociedade aquele senso crítico em relação à nanotecnologia. (*Jornal da Ciência*, 16/04/2007)

### **12.7.1) O QUE O CIDADÃO ACHA DA NANOTECNOLOGIA MUNDO AFORA**

Federico Neresini, da Università di Padova, conduziu uma pesquisa para descobrir o que os italianos pensam da nanotecnologia.

"As motivações para tais pesquisas podem ser bem variadas, desde o interesse acadêmico em entender as relações ciência-tecnologia-sociedade, ou um genuíno interesse em provocar participação pública na tomada de decisões, até preocupações em encontrar as estratégias de comunicação mais apropriadas para evitar rejeições sociais futuras." (MURIELO, 2007, p. 18-19)

O estudo de Neresini contou com 12 grupos focais e uma amostra de mil enquetes, com representantes de diferentes idades e formações. Somente 14,5% reconheciam a palavra nanotecnologia. A pesquisa também avaliou como as pessoas reagiam depois de assistir a um material audiovisual de divulgação produzido pela Comunidade Européia sobre o tema.

"O resultado mais evidente é que há uma boa recepção da nanotecnologia, em particular no que se refere a possíveis aplicações médicas. A esperança de cura de doenças como câncer ou Aids aparece depositada em soluções que a nanotecnologia poderia vir a oferecer." (Ibid, p. 19)

Contudo, os italianos também demonstraram uma certa preocupação quanto à segurança e ao controle da nova tecnologia. Os norte-americanos, por sua vez, principalmente os com maior nível educacional, têm pouca confiança no governo para administrar os riscos da nanotecnologia, segundo pesquisa realizada por Jane Macoubrie, da Universidade da Carolina do Norte. "As preocupações dos participantes do estudo foram

amplamente baseadas nas experiências sobre 'avanços' cujas limitações e efeitos negativos foram mal compreendidos inicialmente e, mesmo quando compreendidos, foram mal administrados." (MACOUBRIE, 2006, p. 221)

No Brasil, não foi feita uma pesquisa desse tipo. Porém, a experiência da NanoAventura, exposição itinerante sobre nanotecnologia do Museu Exploratório de Ciências da Unicamp, sugere que os visitantes têm "uma boa recepção para uma tecnologia ainda desconhecida" (MURIELO, 2007, p. 19) e que, no país, o debate público sobre a governança da nanotecnologia ainda está distante.

### **12.8) É SEGURO NÃO SE PREOCUPAR?**

Em resumo, no Brasil, a nanotecnologia como pesquisa é considerada competitiva internacionalmente; a nanotecnologia como inovação industrial começa a dar seus primeiros passos; o debate público sobre a nanotecnologia ainda é bastante incipiente; e existe uma carência de projetos sobre a segurança da nanotecnologia, seus impactos na saúde, no meio ambiente e na sociedade - estes não parecem ser prioridade<sup>5</sup>, posto que não há incentivos para que os pesquisadores façam tais estudos. (MARTINS, 2007) Os cientistas que se empenham nesse tipo de projeto fazem isso por consciência própria. Por exemplo: o químico Nelson Duran, da Unicamp, revelou que, no desenvolvimento de um tecido impregnado com nanopartículas metálicas, sua equipe está avaliando em que medida essas nanopartículas se desprendem do tecido, de modo a evitar que elas se disseminem no ambiente, pelo princípio da precaução - é possível que essas nanopartículas não causem nenhum mal ao ambiente, mas até que se tenha certeza, deve-se evitar sua disseminação. (DURAN, 2007) Além disso, a Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro), vinculada ao Ministério do Trabalho e Emprego, tem um projeto com foco nos riscos ocupacionais da nanotecnologia. (PINTO, 2007)

Apesar dessas iniciativas, pode-se dizer que existe uma carência de projetos sobre a segurança da nanotecnologia no Brasil e em outros países. Contudo, especialmente dos Estados Unidos e de países da Europa<sup>6</sup>, chegam notícias de ações sobre o tema, ainda que se possa suspeitar de que algumas delas visam mais convencer sobre a segurança da nanotecnologia do que efetivamente avaliar seus riscos:

- *Nanotechnology: New Promises, New Dangers* é o título de um livro escrito por Tob Shelley, jornalista do *Financial Times*. A publicação defende estudos sobre eventuais riscos à saúde e ao meio ambiente que considerem todo o ciclo de vida dos produtos nanotecnológicos, desde o desenvolvimento até o descarte. O autor destaca que é necessário mitigar os riscos sem reprimir a inovação, com atenção especial aos usos militares e às possíveis aplicações que cerceiem a liberdade individual. (Apud MOORE, 2006, p. 747)

- Na Alemanha, no âmbito do Projeto NanoCare, do Ministério Federal do Ensino e da Pesquisa (BMBF, na sigla em alemão), empresas, universidades e centros de pesquisa analisam as conseqüências para a saúde e o meio ambiente das nanopartículas produzidas industrialmente. Nos próximos três anos, o Projeto NanoCare receberá US\$ 7,5 milhões do BMBF e US\$ 3,9 milhões das indústrias. As ações reúnem 16 parceiros e são coordenadas pelo Centro de Pesquisa Karlsruhe. (LQES NEWS, 2006c)
- Pesquisadores da Universidade de Rice e do Texas M.D. Anderson Cancer Center, nos Estados Unidos, injetaram nanotubos de carbono<sup>7</sup> na circulação sanguínea de animais e não observaram alterações no comportamento nem na saúde das cobaias. Em linhas gerais, os nanotubos permaneceram por mais de uma hora no sangue e, depois, foram eliminados pelo fígado. Agora, a equipe pretende estudar os efeitos de longo prazo no organismo. (LQES NEWS, 16/01/2007b)
- Em uma pesquisa do Dublin Institute of Technology, células humanas de pulmão foram expostas a diferentes doses de nanotubos de carbono. Os primeiros resultados sugeriram que os nanotubos não parecem tóxicos às células. (LQES NEWS, 2006b)
- A toxicidade de nanotubos de carbono também será investigada no Centre National de Recherche Scientifique, na França. O projeto, com duração de três anos e orçamento de 300 mil Euros, contempla três vertentes: impactos para o meio ambiente, sobretudo para a fauna do meio aquático; toxicidade para o homem; e síntese mais limpa dos nanotubos, que podem ser usados em telas planas, indústria automotiva, artigos esportivos, tecidos e outros. (ALVES, 2007)
- Os nanotubos de carbono têm sido intensamente estudados porque apresentam novas propriedades mecânicas, eletrônicas etc. Mas a possível toxicidade desses materiais também chama a atenção, porque eles teriam similaridades com o amianto e outras fibras carcinogênicas. "Nanotubos de carbono são longos, finos (somente nanômetros de diâmetro) e insolúveis - todos fatores que contribuem para a toxicidade da fibra nos pulmões." (STONE; DONALDSON, 2006, p. 23) Estudo realizado na Universidade da Califórnia em Los Angeles sugere que, para prever os riscos, a melhor maneira é examinar quais nanomateriais causam mais dano oxidativo dentro das células. (Ibid, 2006)
- A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos incentiva estudos relacionados aos impactos da nanotecnologia na saúde e no meio ambiente. (LQES NEWS, 2006a) Em um estudo para esse órgão, a equipe da neurotoxicologista Bellina Veronesi expôs células da micróglia de camundongos a uma solução com baixa concentração de partículas ultrafinas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>). Conhecidas

por proteger o cérebro contra invasores, as células da micróglia engolfaram as partículas e liberaram radicais livres durante duas horas. A micróglia não sofreu dano, mas, segundo os cientistas, a exposição prolongada às partículas poderia causar prejuízos aos neurônios. (PARKS, 2006)

- Um estudo sobre os eventuais riscos da nanotecnologia à saúde e ao meio ambiente e a regulamentação dessa nova tecnologia foi encomendado pelo Woodrow Wilson International Center for Scholars, o que rendeu o relatório *Managing the Effects of Nanotechnology*, assinado por J. Clarence Davies, ex-administrador assistente da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. De acordo com o documento, divulgado em janeiro de 2006, é preciso investir em pesquisa básica sobre os riscos da nanotecnologia e elaborar uma regulamentação<sup>8</sup> específica para o setor. (Apud BUENO, 2006)
- A administração Bush propôs uma rede de centros acadêmicos que realize pesquisa básica e dissemine os resultados sobre as implicações da nanotecnologia para a saúde e o meio ambiente. Em 2006, o governo federal norte-americano financiou US\$ 38 milhões em pesquisas sobre saúde ambiental e segurança da nanotecnologia. E a tendência é que o orçamento aumente, com a formação de uma rede, financiada pela National Science Foundation. (SERVICE, 2007, p. 926)

Embora os Estados Unidos tenham diversas ações voltadas à investigação dos impactos da nanotecnologia na saúde e no meio ambiente, o Congresso do país, em 1995, desmontou o Escritório de Avaliação Tecnológica, que provia os formuladores de políticas com análises dos complexos desafios científicos e tecnológicos contemporâneos. (MOORE, 2006, p. 747) Isto é um indício de que a gestão de qualquer nova tecnologia tem vários matizes e é motivada por uma série de questões políticas, econômicas, sociais, ideológicas etc.

Voltando à questão dos possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente, este tema, muitas vezes, introduz uma outra discussão, sobre a necessidade ou não de uma regulamentação específica para a nanotecnologia. Mas essa discussão não envolve somente os aspectos científico-tecnológicos. Novamente, as questões políticas, econômicas, sociais e ideológicas, entre outras, entram na pauta. Refletir sobre uma possível regulamentação da nanotecnologia, assim como avaliar quais os melhores rumos para o desenvolvimento dessa tecnologia, requer um embasamento que não vem só das ciências naturais, biomédicas e exatas<sup>9</sup>. É necessário levar em conta, por exemplo, quais serão os efeitos da nanotecnologia na oferta de emprego, na organização da cadeia produtiva e da sociedade de modo geral, no comportamento do cidadão comum, na distribuição da renda etc.

Outras dúvidas suscitadas pela nanotecnologia incluem quem vai decidir sobre seus rumos, quem se beneficiará e quem será prejudicado por seus resultados. (Ibid, 2006) As respostas não sairão dos laboratórios de química ou física, mas de estudos conduzidos pelas ciências sociais e humanas. Contudo, em vários países, como no Brasil, a participação dessas ciências nos debates sobre o desenvolvimento da nanotecnologia ainda é reduzida. Enquanto cada uma das redes que cuidam de nanomateriais, nanobiotecnologia e nanoeletrônica concentra até centenas de pesquisadores, a rede das ciências sociais reúne apenas cerca de 30 membros. Segundo os cálculos do sociólogo Paulo Martins, à frente da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), o governo federal investiu, desde 2001, cerca de R\$ 140 milhões em nanotecnologias, mas só R\$ 92 mil foram destinados às ciências sociais. (MARTINS, 2007)

Geralmente, o consenso necessário para a elaboração de uma lei só ocorre após o registro de um acidente grave, e ainda não se tem notícia de um grande desastre associado à nanotecnologia. No Brasil, até hoje, só houve um projeto de lei para regulamentar a nanotecnologia, mas ele não foi para frente. Aqui e na maior parte do mundo, não existe uma lei específica para a área. No discurso hoje dominante, leis já existentes devem ser aplicadas à nanotecnologia, pois uma regulamentação mais rígida poderia inibir as inovações necessárias ao aumento da competitividade nacional<sup>10</sup>. Aliás, o aumento da competitividade do setor produtivo é usado como justificativa de se investir em nanociência e nanotecnologia, não só no Brasil, mas também em outros países da América Latina.

"Isso responde pelos esforços em todos os países para a integração da indústria e comércio com a pesquisa em nanotecnologia. Porém, competitividade melhorada não é, no limite, o mesmo que melhorar o padrão de vida das pessoas de modo abrangente. Saliente-se aqui o caso da China, que aumentou sua competitividade nas últimas décadas, tornando-se agora o quarto poder econômico do mundo, entretanto, não obstante a alta competitividade e aumento de sua economia, a desigualdade cresceu." (FOLADORI, 2006)

Guillermo Foladori, do Programa de Doutorado em Estudos do Desenvolvimento da Universidade de Zacatecas, no México, que fez pós-doutorado na Unicamp e foi professor visitante da Universidade Federal do Paraná (UFPR), aponta três problemas principais nas propostas latino-americanas em nanociência e nanotecnologia: não chamam a sociedade a participar dos debates e decisões; não realizam estudos sobre riscos à saúde e ao meio ambiente nem sobre implicações éticas; e não consideram os possíveis impactos socioeconômicos. (Ibid, 2006) A presente dissertação de mestrado confirma a existência destes três problemas no Brasil.

Além das três falhas identificadas, também foi possível notar, ao longo desta pesquisa, que chegaram ao Brasil discursos inspirados em Drexler<sup>11</sup>, que aproximam a nanotecnologia da ficção científica. O próprio projeto de lei que pretendia regulamentar esse

campo se refere, por exemplo, aos nanobots, máquinas moleculares projetadas para ações benéficas dentro do corpo humano, mas que poderiam perder o controle e passar a agir de forma autônoma. Outros exemplos que colocam a nanotecnologia perto da ficção científica são os discursos de Leonardo Boff, em artigo de opinião publicado no *Jornal do Brasil*, e de Gilberto Dupas, no livro *O mito do progresso*, da Editora Unesp.

- Leonardo Boff:

"Nos últimos anos, está ocorrendo, de forma extremamente acelerada, não uma nova onda tecnológica, mas um verdadeiro tsunami tecnológico. É a nanotecnologia. Trata-se de uma tecnologia que produz elementos (sic) e coisas não presentes na natureza a partir do mais pequeno como átomos e células que são colocadas em lugares desejados. [...] Trata-se, pois, de uma tecnologia do ínfimo, tão revolucionária que poderá tornar, em breve, a maioria das tecnologias obsoletas, especialmente aquelas aplicadas à agricultura, à indústria farmacêutica, à informática, à microeletrônica e aos microcomputadores." (BOFF, 2007, p. A10)

- Gilberto Dupas:

"Que efeitos terão na autocompreensão da nossa espécie os implantes de chips e a nanotecnologia, que prepara a fusão do homem à máquina? Já se prometem microrrobôs capazes de se autoduplicar, que circulariam pelo corpo humano unindo-se aos tecidos orgânicos para deter processos de envelhecimento ou estimular funções do cérebro." (DUPAS, 2006, p. 212)

Este tipo de discurso desinformado pode produzir duas atitudes opostas: despertar um certo temor em relação à nanotecnologia ou suscitar uma fé de que a nanotecnologia é a solução de qualquer problema. Quando a nanotecnologia é anunciada como a nova revolução tecnológica, os pessimistas têm uma visão apocalíptica, com nano-predadores que tentam destruir a raça humana, enquanto os otimistas vêem o mundo transformado para melhor, com produtos mais baratos, energia abundante, meio ambiente remediado etc. (GELDART; JONES; WOOD, 2003, p. 3)

### **12.9) NOVO, PORÉM ANTIGO...**

A questão central é que a nanotecnologia revolucionária permanece distante da realidade. A nanotecnologia que se vê hoje, diferentemente das promessas, é muito mais incremental do que revolucionária, o que significa, em linhas gerais, que ela melhora o que já existe, mas não cria nada radicalmente novo. Os trabalhos das redes, Institutos do Milênio, laboratórios e projetos descritos nesta dissertação apontam, principalmente, para soluções incrementais. Contudo, o discurso acerca da nanotecnologia revolucionária e de seus efeitos quase milagrosos continua sendo usado sempre que necessário, por exemplo, para justificar os investimentos, solicitar novos financiamentos ou até colocar a opinião pública a favor do desenvolvimento da nova tecnologia.

De modo geral, documentos consultados e pesquisadores ouvidos pela autora desta dissertação até citam o caráter revolucionário da nanotecnologia, mas, ao relatarem

os trabalhos na área, descrevem resultados incrementais. Além disso, ao mesmo tempo em que reconhecem o caráter revolucionário da nanotecnologia, também lembram que as origens dessa tecnologia são antigas, o que seria uma inconsistência. Para resolver essa aparente contradição, alguns documentos e entrevistados diferenciam nanotecnologia (revolucionária) e nanociência (antiga), enquanto outros diferenciam as abordagens bottom-up (revolucionária) e top-down (antiga). A confusão de terminologias - nanotecnologia/ novo/ revolucionário/ bottom-up versus nanociência/ antigo/ incremental/ top-down - acaba por prejudicar um debate público sobre o tema.

Por um lado, anuncia-se que a "nanoera' vai mudar paradigmas em várias áreas do conhecimento" (*Agência CT*, 30/10/2005) e que ela "resultará na revolução tecnológica que se acredita poderá ter maior impacto em nossas vidas neste século XXI do que a influência que tiveram os antibióticos e a microeletrônica durante o século XX". (MASSAMBANI, 2006)

Por outro lado, pondera-se que "a nanotecnologia está presente na natureza há bilhões de anos, desde quando os átomos e moléculas começaram a se organizar em estruturas mais complexas que terminaram por dar origem à vida" (MELO; PIMENTA, 2004, p. 11). Diz-se que "a preocupação com o pequeno vem desde o século V com Leucipo de Mileto" (ARARIPE, 2006), o que nos remete a uma 'nanotecnologia filosófica'. Diz-se, também, que "o homem pratica a nanotecnologia há milênios" (MELO; PIMENTA, 2004, p. 12), o que, por sua vez, nos remete a uma 'nanotecnologia empírica'.

Entre os exemplos mais antigos comumente citados, estão a tinta nanquim, inventada pelos chineses há mais de dois mil anos, que contém nanopartículas de carvão suspensas em solução aquosa e estabilizadas pela mistura com goma arábica; e a taça de Licurgo, obra dos "velhos nanotecnologistas" do Império Romano (ALVES, 2004, p. 28)



Fig. 6 – Taça de Licurgo: verde com luz refletida e vermelha com luz emitida  
(Fonte: Miranda, *Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología*)

A taça, que hoje pertence ao acervo do Museu Britânico, é feita com um vidro que contém partículas de ouro e prata de 50 a 70 nanômetros de diâmetro. Graças a estas nanopartículas, a taça é verde com luz refletida e vermelha com luz transmitida (quando se coloca uma fonte de luz em seu interior, por exemplo). (MIRANDA, 2006) As cores dos vitrais das igrejas medievais, em alguns casos, também são o resultado da absorção diferenciada da luz por partículas coloidais de ouro de tamanhos distintos. (MELO; PIMENTA, 2004, p. 12) Ouro coloidal foi usado, por exemplo, em um vitral da Catedral de Milão, feito por Niccolo de Varallo entre 1480 e 1486. (TOMA, 2004, p. 54) O cirurgião português Luís Gomes Ferreira, que viveu em Minas Gerais entre 1710 e 1735, publicou em 1735 um livro de medicina interessantíssimo, voltado para as mazelas da população local. Um dos 12 tratados do livro se intitula Da rara virtude do óleo do ouro, em que descreve a preparação do ouro coloidal e seu uso contra várias enfermidades. (FERREIRA, 1735)

Os exemplos acima são frutos do trabalho dos “velhos nanotecnologistas”, que praticavam uma ‘nanotecnologia empírica’. Esta era guiada pelas experiências particulares vivenciadas e não contava com um modelo conceitual para explicar os fenômenos envolvidos, pelo menos não na acepção moderna de ciência e método científico.

Exemplos antigos, porém menos, incluem um relato sobre a obtenção e propriedades do ouro coloidal publicado por Faraday em 1857 e a fotografia (TOMA, 2004, p. 55-56). Mais recentemente, temos os modelos atômicos propostos por Rutherford e Bohr e outros estudos sobre os átomos citados no Capítulo 2. Estes experimentos, sobretudo já no século XX, representam a ‘nanotecnologia pré-moderna’, que ganhou impulso com as idéias de Feynman, seguidas pelas de Drexler, já entrando na fase seguinte. Acompanhada por uma série de promessas ainda não cumpridas, a ‘nanotecnologia moderna’<sup>12</sup>, por sua vez, poderia ser dividida em duas fases: a ‘inicial’, marcada pela invenção, no início dos anos 80, do microscópio que abriu a possibilidade real de se visualizar e manipular a matéria na nanoescala; e a ‘atual’, a partir do desenvolvimento e da consolidação dos primeiros produtos de base nanotecnológica não empírica (com entendimento e aproveitamento intencional das propriedades na nanoescala). Ou seja: a ‘nanotecnologia moderna atual’ coincide, no Brasil, com a passagem da terceira para a quarta etapa do desenvolvimento da tecnologia, explicado anteriormente.

‘Nanotecnologia filosófica’ (Leucipo e Demócrito) e ‘nanotecnologia empírica’ (nanquim e taça de Licurgo) não são nanotecnologia no sentido ‘moderno’ do termo, mas elas representam seus primórdios. A nanotecnologia nos moldes que temos hoje começou a emergir, sobretudo, com o advento do microscópio de varredura por tunelamento, nos anos 80, quando ficou nítido que o controle da matéria na nanoescala era possível, o que despertou o interesse de muita gente pelo estudo e pela aplicação tecnológica de objetos nessa escala.

Portanto, a 'nanotecnologia moderna' tem, no mínimo, cerca de 30 anos. Como visto no Capítulo 4, inclusive no Brasil, cientistas já se familiarizavam com a nanotecnologia há, pelo menos, 20 anos, ainda que ela fosse chamada por diversos outros nomes, o que é compreensível, pois o escopo da nanotecnologia surge da junção e dos desdobramentos de conhecimentos e técnicas de múltiplas disciplinas, sobretudo química, física e biologia, além da tendência à miniaturização, especialmente na eletrônica. Contudo, é preciso ter em mente que, em pesquisa, duas ou três décadas não são tanto tempo assim, mesmo no campo da nanotecnologia, onde a percepção é de que os desenvolvimentos acontecem de forma acelerada.

Apesar de o termo nanotecnologia ter sido usado pela primeira vez em 1974 por um japonês, a palavra só se disseminou pelo mundo na virada do século XXI, quando os Estados Unidos lançaram seu programa nacional para a área, o que motivou países de economia emergente, como o Brasil, a fazerem o mesmo. O caráter de 'eterna novidade' associado à nanotecnologia também pode ser explicado pelo fato de existir um 'eterno porvir' dessa tecnologia – seus resultados mais incrementais e mundanos se concretizam, enquanto suas façanhas mais espetaculares continuam sendo prometidas para o futuro.

"Nos últimos anos, uma enorme quantidade de estudos vem sendo feita no sentido de concretizar as novas idéias que surgem na área de nanotecnologia. Mesmo assim, apesar dos avanços alcançados, ainda há muito a ser feito. [...] O desenvolvimento da ciência em nanoescala encontra-se principalmente na fase pré-competitiva e espera-se que muitas aplicações de destaque nesse campo surjam nos próximos anos." (DURAN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 25)

Portanto, os resultados mais impactantes ainda estariam por vir. Afinal, diante do que foi exposto até agora, a nanotecnologia é nova ou antiga? Por um lado, como quase qualquer coisa em ciência e tecnologia, a nano teve sua semente primordial plantada há muito tempo – portanto é antiga. Por outro, a nano como a entendemos hoje emergiu há cerca de três décadas e pode ser considerada nova por duas razões principais: trinta anos são pouco tempo em pesquisa; e resultados mais impactantes são esperados no futuro, sendo que este pode demorar uma ou mais décadas para chegar.

Porém, lembra-se que, conforme explicado na Introdução, a autora desta dissertação optou por considerar nanociência e nanotecnologia conjuntamente, referindo-se a ambas como nanotecnologia e omitindo nanociência. Embora reconheça que ciência e tecnologia são coisas distintas, conforme definições apresentadas na Introdução, a autora julga que ambas estão intimamente associadas, sobretudo no campo nano – onde, nos dias de hoje, o discurso pró-inovação incentiva a pesquisa científica, inclusive a básica, a almejar aplicabilidade tecnológica (Tabelas 2 e 3).

Contudo, existem autores e pesquisadores com opinião diferente. Segundo eles, a nanotecnologia é nova, pois a aplicação dos conhecimentos adquiridos sobre as

propriedades diferenciadas da matéria na nanoescala para a criação de novos produtos industriais é uma abordagem recente. Já a nanociência é antiga: ela diz respeito à geração de conhecimentos sobre o comportamento da matéria na nanoescala e se originou do interesse e da reflexão acerca da estrutura da matéria, com Leucipo e Demócrito. Esta opinião, embora diferente, não é oposta à da autora desta dissertação. Em outras palavras: por um lado, enquanto a autora se refere às nanotecnologias ‘filosófica’, ‘empírica’, ‘pré-moderna’ e ‘moderna inicial’, outros falam simplesmente em nanociência; por outro, enquanto a autora se refere à ‘nanotecnologia moderna atual’, outros falam apenas em nanotecnologia. Em última análise, trata-se de uma diferença de nomenclatura, e não conceitual. Apesar de aparentemente mais complicada, a autora acredita que sua nomenclatura tem uma vantagem: ela revela melhor o longo processo que levou à nanotecnologia dos nossos dias, evitando que esta pareça mais revolucionária do que realmente é.

Ao colocar o microscópio de varredura por tunelamento, que permitiu a movimentação intencional de átomos individuais, como um marco para a ‘nanotecnologia moderna’, admite-se que a abordagem bottom-up tem um caráter mais inovador que a top-down. Contudo, não se pode esquecer que as ferramentas para a abordagem top-down também evoluíram e representam desenvolvimentos importantes, especialmente em micro e nanoeletrônica. Embora muitos considerem a nanoeletrônica bottom-up mais revolucionária, a top-down tem seus defensores, como o professor Jacobus Swart, da Unicamp, e atual diretor do Centro de Pesquisas Renato Archer (CenPRA):

"Infelizmente ouve-se com freqüência o discurso que diz que o Brasil perdeu o bonde da microeletrônica e que a nanotecnologia é algo diferente e de futuro, da qual poderemos participar mesmo sem dominar a microeletrônica. A verdade é que a microeletrônica atual já alcançou a escala nanométrica e constitui uma grande parte do mercado de nanotecnologia. Ou seja, nesta área da nanotecnologia trata-se de uma rápida e custosa evolução a partir da microtecnologia. Tal evolução requereu muita pesquisa em novos materiais e técnicas de micro e nanofabricação, porém mantendo sempre o mesmo substrato semicondutor de silício. A micro e a nanoeletrônica baseiam-se na tecnologia chamada ‘top-down’, ou seja, na moldagem das estruturas pela remoção localizada de materiais previamente depositados sobre toda a superfície, de cima para baixo, portanto. Ao contrário, o crescimento de espécies orgânicas na natureza dá-se pelo processo chamado ‘bottom-up’: crescimento da estrutura de forma localizada, de baixo para cima. Muitos especialistas prevêem uma convergência destas duas técnicas em processos nanotecnológicos, no futuro. Assim, ao desprezar e não dominar as técnicas de fabricação do tipo ‘top-down’, o domínio ou alcance da nanotecnologia ficará bastante limitado. Como pode, então, prevalecer no país o antagonismo entre microeletrônica e nanotecnologia? Possivelmente por uma questão de oportunismo, a partir do fato da microeletrônica não ter se desenvolvido satisfatoriamente no país. Realmente, o desenvolvimento da microeletrônica no Brasil foi muito limitado, por várias causas. Isto dá espaço ao descrédito e oportunidade para justificar o direcionamento dos recursos para áreas de interesses outros. É bastante preocupante esta posição, pela limitação que causará no domínio abrangente da nanotecnologia e pela enorme importância dos semicondutores em ‘todos’ os produtos atuais, de forma direta ou indireta.” (SWART, 2007)

Essa visão de Swart, de que o desenvolvimento da nanoeletrônica passa, necessariamente, pela microeletrônica, reforça a idéia de que a nanotecnologia é menos revolucionária e mais evolucionária, como exposto no Capítulo 4.

### **12.10) UMA REVOLUÇÃO ADIADA**

A diferença entre as promessas revolucionárias e as realizações incrementais da nanotecnologia já foi alvo de análises no exterior. Segundo Stephen Wood, Richard Jones e Alison Geldart, da Universidade de Sheffield, existe uma grande diferença entre os produtos nanotecnológicos reais e as promessas associadas à nanotecnologia – estas, mais radicais, atraíram a atenção para o tema. Em documento com a chancela do Economic & Social Research Council (ESRC), do Reino Unido, os três autores afirmam que os produtos reais, como os tecidos resistentes a manchas, por exemplo, até são interessantes e lucrativos, mas constituem um balde de água fria diante do que foi prometido – a julgar pelas promessas, havia pouca coisa que a nanotecnologia não pudesse fazer. Contudo, os produtos nanotecnológicos desenvolvidos ou em desenvolvimento ainda são mundanos, o que demonstra que as idéias mais ambiciosas a respeito de uma tecnologia promissora, como a nanotecnologia, não fluem tão fácil e rapidamente da mente dos cientistas para as prateleiras do mercado. (GELDART; JONES; WOOD, 2007, p. 4)

Wood, Jones e Geldart identificam três perspectivas de nanotecnologias<sup>13</sup>:

- Nanotecnologia incremental: "Desenvolvimentos que são essencialmente uma continuação das direções de pesquisa dos últimos 50 anos. Isso inclui muita ciência dos colóides e dos materiais, e é focada nos materiais que têm propriedades superiores ou novas como resultado do controle de sua estrutura na nanoescala." (Ibid, p. 5) De acordo com os autores, é nesta classe que se encaixam todas as aplicações atuais da nanotecnologia, exceto o desenvolvimento computacional, que se enquadra na próxima categoria.
- Nanotecnologia evolucionária: "A escalada de tecnologias existentes rumo à nanoescala. Aqui o foco é menos nos materiais simples e mais nos dispositivos funcionais. Isso incluiria desenvolvimentos em tecnologia da informação (por exemplo: semicondutores, dispositivos de memória) e entrega molecular (por exemplo: entrega de drogas)." (Ibid, p. 5)
- Nanotecnologia radical: "Máquinas em nanoescala totalmente funcionais. Isso incluiria as propostas de Drexler e seus seguidores, mas outras abordagens podem também levar a esse resultado." (Ibid, p. 5)

Mais ou menos na mesma linha de raciocínio, Mark C. Suchman, da Universidade de Wisconsin-Madison, distingue duas classes de nanotecnologia: os nano-materiais

(incrementais) e as nano-máquinas (radicais). (SUCHMAN, 2003) Na primeira classe, encaixam-se produtos como polímeros mais resistentes para pneus e cerâmicas mais duras para brocas, que representam descontinuidades tecnológicas discretas e, portanto, não terão impactos sem precedentes. Para Suchman, mesmo os nano-materiais mais inovadores, como munição que penetra tanques blindados e célula fotovoltaica que elimina a necessidade de combustível fóssil, terão implicações relativamente familiares, comparáveis, por exemplo, às do plástico (e este foi desenvolvido sem o entendimento da nanoescala!). De fato, os nano-materiais poderão ser aplicados, ao mesmo tempo, em diversos segmentos industriais, mas Suchman lembra que algo semelhante já foi observado para os semicondutores, os polímeros sintéticos e as telecomunicações sem fio.

Associadas à engenharia mecânica e à robótica, as nano-máquinas, que incluem dispositivos médicos ultra-pequenos *in vivo* e sistemas de vigilância miniaturizados, impõem desafios realmente novos, sem precedentes. De acordo com Suchman, as nano-máquinas têm, pelo menos, três propriedades distintas: invisibilidade, micro-locomoção e auto-replicação, às quais podem se somar, de forma ainda mais radical, operação autônoma e auto-modificação. "Máquinas nano-construídas nos forçarão a reformular nossas regras e instituições para governar um cenário não familiar com o qual nós não temos experiência prévia." (Ibid, 2003)

Enquanto uns fazem a distinção entre nano-materiais e nano-máquinas ou entre nanotecnologia incremental e radical, outros, como Rob Sparrow, salientam que uma dose de hipocrisia perpassa o debate sobre essa tecnologia. "Entusiastas da nanotecnologia fazem uma série de alegações quando querem fazer propaganda e promover essa tecnologia e outra série de alegações, freqüentemente opostas, quando os céticos questionam o entusiasmo." (SPARROW, 2007) Na análise de Sparrow, da Monash University, quando pesquisadores querem financiamento para seus projetos e empresários fazem propaganda para seus produtos, o argumento usado é que a nanotecnologia fará coisas maravilhosas, como a cura das doenças e a geração de riquezas. Entretanto, Sparrow constata que o discurso muda diante das críticas sobre possíveis riscos. Confrontados pelas críticas, entusiastas desviam o debate para a questão da nomenclatura. Alegam que a nanotecnologia em si talvez nem exista – ela seria apenas a reunião de técnicas de manipulação da matéria na nanoescala, relativamente familiares, desenvolvidas no âmbito da química, física e outras disciplinas.

Sparrow também salienta que, se a nanotecnologia é revolucionária, ela resultará em vencedores e perdedores, e é necessário prever quem serão eles. Diante deste questionamento, entusiastas sugeririam que a nanotecnologia não é nova – ela seria apenas um último estágio do processo de miniaturização, além de já estar presente em produtos do cotidiano, como os aparelhos eletrônicos. Porém, para requisitarem patentes, argumentam que a nanotecnologia é nova.

Em defesa da segurança da nanotecnologia, diz-se que há muito tempo convivemos com as nanopartículas, como as geradas pela queima dos combustíveis fósseis. Em primeiro lugar, os efeitos deletérios deste tipo de poluição, como as mudanças climáticas, já são amplamente reconhecidos. Além disso, essas nanopartículas são subprodutos com ampla variedade de tamanhos e formas, enquanto as partículas da nanotecnologia moderna são produtos intencionalmente arquitetados com distribuição homogênea de tamanho e forma. Supõe-se, portanto, que os dois tipos de partículas tenham comportamentos e efeitos distintos.

Sparrow critica, ainda, a nanotecnologia ser considerada um desenvolvimento inevitável para quem quer chegar ao futuro, desprezando-se a possibilidade de escolher não desenvolvê-la. Apesar da hipocrisia identificada pelo autor, ele não acredita que a nanotecnologia impõe desafios éticos sem precedentes.

"As questões éticas mais urgentes associadas à nanotecnologia dizem respeito à relação entre democracia e tecnologia, respeito ao meio ambiente, risco, privacidade, justiça social e a possibilidade de corrida armamentista. Todas estas questões já nos são familiares como consequência das tecnologias existentes." (Ibid, 2007)

#### **12.11) INCREMENTANDO A NANOTECNOLOGIA BRASILEIRA**

Os dados reunidos neste trabalho indicam que, pelo menos em curto ou médio prazo, a nanotecnologia não trará novidades radicais. Em ciência, tecnologia, desenvolvimento e inovação, as novidades, em geral, requerem um tempo de gestação longo, de modo que, quando essas novidades finalmente são levadas a cabo, já não soam tão radicais. A nanotecnologia radical deve demorar, mas a nanotecnologia incremental já dá frutos, inclusive alguns no Brasil. Embora menos impactante e abaixo das expectativas criadas, a nanotecnologia incremental tem grande importância e pode, inclusive, proporcionar o tão aguardado aumento da competitividade da indústria nacional. A inovação incremental a partir da nanotecnologia não terá resultados estrondosos, porém significativos. De forma responsável, isto é, com o devido monitoramento dos impactos à saúde, ao meio ambiente e à sociedade, esse tipo de inovação deve ser estimulado.

É fato que, no Brasil, até agora, a inovação em nanotecnologia, mesmo a incremental, é mais um discurso do que uma prática. Contudo, a autora desta dissertação tem uma visão otimista desse discurso, na medida em que ele vem acompanhado por algumas posturas importantes. Nas redes de nanotecnologia, ao lado das universidades e institutos de pesquisa, em geral, está sempre pelo menos uma empresa. Os pesquisadores ouvidos não se mostraram arredios ao contato com o setor industrial. Pelo contrário: eles têm, já tiveram ou planejam ter parcerias com empresas.

"É bastante claro que, na nanotecnologia, a questão da transferência de tecnologia não se resume à simples procura daquela tecnologia que interessa às empresas. Deve-se começar a trabalhar conjuntamente,

academia e empresa, muito antes, desde a escolha do tema, da formatação do projeto de pesquisa e das metas a serem buscadas.” (ALVES, 2005b)

O estabelecimento de parcerias entre os setores acadêmico e industrial é incentivado por editais do MCT. Isso demonstra que já existem iniciativas, mesmo que incipientes, no sentido de colocar em prática o discurso da inovação em nanotecnologia. Bem ou mal aplicados, instrumentos que podem fomentar tal inovação estão sendo criados, como é o caso da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), cujo diretor de Inovação é Evando Mirra, ex-presidente do CNPq e do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

"A Agência foi criada para lidar com as oportunidades geradas pelo estabelecimento da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, e para contribuir na implantação da Lei de Inovação. São questões novas para o país, as mudanças não se fazem da noite para o dia, nem se passam por decreto. Pelo contrário, exigem um enorme esforço de informação, de convencimento e de articulação entre os diferentes atores - como empresas, universidades, centros de pesquisa, órgãos de governo e instituições financeiras - envolvidos. Alguns dos objetivos específicos estão vinculados à organização de programas de desenvolvimento setoriais e à definição de rotas tecnológicas adequadas para diferentes linhas da atividade econômica. Além disso, a ABDI está profundamente engajada no esforço de implementação das ações em áreas estratégicas para o país e na promoção das áreas portadoras de futuro, como a biotecnologia e a nanotecnologia." (MIRRA, 2006a)

De acordo com Mirra, as atividades de inovação representam metade do crescimento do PIB nos países desenvolvidos. Mas a importância da inovação já é reconhecida também nos países emergentes. Por se tratar de um processo que engloba múltiplos atores – empresas, instituições de ensino e pesquisa, agentes financeiros, regulatórios e jurídicos, governos e opinião pública – a inovação requer diálogo, articulação e cooperação entre todos os envolvidos. Segundo o diretor da ABDI, a inovação no Brasil ainda enfrenta dificuldades, mas já exhibe conquistas significativas. Ele destaca a qualidade de nossas pesquisas e pesquisadores, de nível internacional. Mas o setor produtivo também já tem resultados que não podem ser desprezados.

“Se apenas 1,7% das nossas indústrias inovam e diferenciam produtos de forma a competir com eficácia no mercado internacional, elas já representam cerca de 25% do PIB industrial brasileiro. [...] Embora lentamente, nossa capacidade inovadora começa a crescer e sinaliza o caminho para uma presença mais ambiciosa.” (MIRRA, 2006b)

Quando se fala de capacidade inovadora, em geral, vem à cabeça uma inovação radical, um produto ou serviço que mude paradigmas. Contudo, o mais comum, viável e vantajoso em curto prazo é a inovação incremental. Artigo publicado na revista *Facto*, da Associação Brasileira das Indústrias de Química Fina, Biotecnologia e Suas Especialidades (Abifina), defende que o setor público deve difundir a cultura da inovação incremental, na qual a indústria absorve uma tecnologia já existente, em geral no exterior, faz adaptações e

chega a um produto ou processo localmente inovador. Não se trata de adquirir uma nova tecnologia pronta, mas de inovar a partir de uma tecnologia já disponível.

"Uma empresa ou um país podem e devem realizar inovações locais em produtos e processos já conhecidos em outros países, absorvendo conhecimento externo, inclusive aquele expresso em patentes que caíram em domínio público. É assim que a indústria recicla e inova seus procedimentos e otimiza processos de fabricação." (*Facto/Abifina*, 2006)

O artigo com a chancela da Abifina diz que já existe uma cultura da inovação incremental na indústria brasileira de química fina e cita como exemplos a produção de bicarbonato de sódio, na década de 80, e AZT, nos anos 90. De acordo com o artigo, embora a inovação incremental possa não ser patenteável, na medida em que não constitui novidade propriamente dita, ela responde pela maior parte do desenvolvimento dos países. Um bom exemplo seria a Coreia. Para se tornar o que é hoje - produtora de inovações radicais patenteáveis -, a Coreia começou dando ênfase à inovação incremental. "A Coreia privilegiava o uso industrial em detrimento da geração de patente, ao mesmo tempo em que formava grandes contingentes de recursos humanos para absorver a tecnologia disponível no mundo." (*Ibid*, 2006)

Quanto ao desenvolvimento do Brasil, ele deixa a desejar, segundo o diretor-geral da Sociedade Brasileira Pró-inovação Tecnológica (Protec), Roberto Nicolsky, que considera insuficientes as taxas de crescimento do PIB do país (2,9% no ano de 2006). Na sua opinião, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) é válido, mas não surtirá efeitos em curto prazo. Para um resultado mais imediato, Nicolsky diz que as indústrias de transformação e os serviços qualificados têm que assumir a dianteira do desenvolvimento e crescer acima do PIB, o que já aconteceu em dois diferentes momentos da história do Brasil.

"Assim foi na década de 70 e, recentemente, em 2004, quando o país cresceu 4,9% puxado pela indústria, que exibiu surpreendente índice de 8,3%. A lógica do desenvolvimento foi a mesma no Japão, na Coreia e em Taiwan; e é assim na China, onde a indústria siderúrgica cresce 15% anuais há uma década, para um PIB que cresce 9% em média; ou na Índia, onde há 15 anos os serviços qualificados de tecnologia da informação crescem 35% anuais e o PIB alcançou 9% ao ano." (*NICOLSKY*, 2007, p. A3)

Os números apresentados por Nicolsky indicam que as indústrias de transformação e os serviços qualificados podem sustentar um crescimento relativamente rápido de um país. Isso requer "políticas públicas focadas na agregação de valor pela incorporação imediata de inovações tecnológicas incrementais, que proporcionam pequenas melhorias competitivas" (*Ibid*, p. A3). Essas pequenas melhorias são mais fáceis de obter do que a criação de produtos radicalmente novos, que não só exigem mais tempo e dinheiro, como têm um risco mais elevado. Em outras palavras, Nicolsky defende que, para o crescimento de um país em curto prazo, uma boa estratégia consiste em priorizar as inovações

incrementais de produtos e serviços: os recursos, em geral escassos, devem ser canalizados para agregar valor à produção. E tal estratégia é viável, segundo os cálculos de Nicolsky.

"Há recursos para dar a partida, pois a arrecadação para os fundos setoriais de apoio ao desenvolvimento tecnológico atinge R\$ 2 bilhões por ano e há uma reserva de contingência com mais de R\$ 5 bilhões acumulados. Por outro lado, o BNDES não aplicou R\$ 7 bilhões do seu orçamento de 2006. Só aí temos 0,7% do PIB, índice amplamente suficiente para o choque de inovação incremental de que a indústria de transformação e os serviços qualificados precisam para competir." (Ibid, p. A3)

A criação de uma linha de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para a nanotecnologia está entre as estratégias em discussão pelo governo federal, segundo anunciou a colunista Flávia Oliveira, no jornal *O Globo*, no dia 05/05/2007. (OLIVEIRA, 2007) Também recentemente, o BNDES aprovou a criação do programa Capital Semente (Criatec). Com orçamento de R\$ 80 milhões em quatro anos, o Criatec é dirigido a micro e pequenas empresas inovadoras nascentes, com foco em nanotecnologia ou em outras áreas, como tecnologia da informação e agronegócio. (*BNDES – Notícias*, 18/01/2007)

Em termos econômicos, a estratégia defendida por Nicolsky parece pertinente. No entanto, em seu discurso, percebe-se a crença de que o crescimento econômico, mais cedo ou mais tarde, conduz ao desenvolvimento social - trata-se daquele velho enunciado segundo o qual primeiramente se faz crescer o bolo para depois dividi-lo. Essa crença de Nicolsky se faz notar, por exemplo, quando ele descreve o exemplo indiano.

"A Índia tem tido enorme sucesso em fazer crescer o PIB pela qualificação e valorização dos recursos humanos e estímulo à produção interna de produtos de alto valor agregado, como software, fármacos e medicamentos. Tais produtos são massivamente exportados, inclusive para o Brasil - em que pesem os indicadores sociais, ainda extremamente negativos daquele país: 30% de analfabetos e 360 milhões em extrema pobreza. Daqui a dez anos, o cenário na Índia será outro, como já é muito diferente hoje do de dez anos atrás." (NICOLSKY, 2007, p. A3)

Contudo, cientistas sociais costumam ser céticos em relação ao desenvolvimento social como uma consequência natural do crescimento econômico. No caso do crescimento econômico que pode vir a ser proporcionado pela nanotecnologia, esse ceticismo é expresso por membros da Renanosoma.

## 12.12) A NANOTECNOLOGIA QUE QUEREMOS

No discurso hegemônico, a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e a inovação melhoram o desempenho do setor industrial, levam ao crescimento econômico e este conduz ao desenvolvimento social - este caminho da pesquisa ao desenvolvimento social representa tudo o que os países mais pobres precisam para conquistar algum prestígio no

cenário internacional. Quando se aplica tal discurso hegemônico para o caso da nanotecnologia, as potencialidades para os países mais pobres costumam ser ainda mais valorizadas. Isso porque a nanotecnologia está na moda, é encarada como novidade em todo o mundo e, dessa forma, se os países mais pobres investirem nela de forma adequada, eles podem se aproximar dos países mais ricos.

Porém, não é tão simples ir da pesquisa de uma nova tecnologia à solução de problemas de importância social, uma vez que as relações entre ciência e sociedade são complexas. Neste sentido, é necessário considerar algumas questões. A produção, a eficiência, o uso e as implicações de uma tecnologia dependem do contexto social. A escolha de uma tecnologia não é um processo neutro, pois nele pesam forças políticas, econômicas e ideológicas, de modo que a tecnologia eleita pode não ser a que melhor satisfaz as necessidades sociais. Existem diversos meios para solucionar um problema e nem sempre o caminho tecno-científico é o mais adequado - "a organização da população - o que alguns chamam de tecnologia social - pode ser igualmente importante". (INVERNIZZI; FOLADORI, 2006, p. 70)

Em resumo, foram identificadas duas vertentes. A primeira destaca a importância do desenvolvimento tecnológico, em especial da nanotecnologia, para a inovação no setor industrial e o crescimento econômico de países como o Brasil. A segunda adverte que esse processo não é garantia de bem-estar social e chama a atenção para a necessidade de se promover debates públicos sobre os investimentos do Estado em ciência e suas estratégias econômicas, ressaltando que a articulação popular é um ingrediente importante para se fazer frente aos principais problemas do país. A autora desta dissertação defende que uma vertente não invalida a outra e ambas são legítimas e complementares.

Quanto à primeira vertente, já foi demonstrado que existe no Brasil um discurso pró-inovação em nanotecnologia e os primeiros passos para transformar esse discurso em prática estão sendo dados. Embora a nanotecnologia prometa inovações radicais, estas permanecem distantes. Portanto, são as inovações incrementais da nanotecnologia que têm potencial de chegar ao mercado a curto e médio prazo. Elas devem ser estimuladas, por meio de políticas públicas, para qualificar produtos e serviços, melhorar o desempenho das empresas brasileiras, aumentar a competitividade da indústria nacional e proporcionar o crescimento econômico do país. Todavia, de acordo com a análise da autora desta dissertação, isso só será possível se as políticas públicas voltadas à nanotecnologia tiverem um foco mais específico. Afinal, apesar do discurso de que, na corrida da nanotecnologia, todos os países competem em igualdade de condições, isso é utopia, pois existem desigualdades estruturais históricas. Contudo, investimentos e esforços com um foco mais específico podem garantir competitividade e até liderança em, ao menos, uma fatia da nanotecnologia.

Muito se fala da necessidade de se investir em nanotecnologia, como se a nanotecnologia fosse uma entidade única de contornos bem definidos, o que não é verdade. A nanotecnologia é um emaranhado de conhecimentos e técnicas oriundos da química, da física, das engenharias, das ciências dos materiais, da biologia, da medicina etc. Ela junta conhecimentos e técnicas novos com os já consagrados. Enfim, é uma mistura dos mais diferentes ingredientes que pode ter aplicações nos mais variados segmentos da indústria. É necessário, então, definir quais desses segmentos devem ser alvo dos investimentos em nanotecnologia. O ideal seria ter recursos para investir de forma adequada em todos os segmentos, mas o orçamento do Estado brasileiro não pode ser tão generoso com a nanotecnologia, pois há uma série de outros temas prioritários, dentro e fora do universo de ciência e tecnologia. Logo, o orçamento possível para a nanotecnologia requer a definição de prioridades. Definir prioridades significa responder a perguntas tais como: Quais os segmentos mais estratégicos para o Brasil? Quais os mais necessários, nos quais, se ficarmos dependentes de tecnologias estrangeiras, os efeitos podem ser altamente deletérios? Quais já se encontram em um estágio avançado de desenvolvimento, nos quais podemos garantir liderança mundial?

Para responder a essas perguntas, é necessário levar em conta a segunda vertente identificada, ou seja, as respostas só podem ser encontradas mediante debates públicos. A sociedade tem que ser ouvida, para que a definição de prioridades contemple não só os interesses econômicos e financeiros, mas também as expectativas e necessidades sociais. Dito assim parece utópico, pois o Brasil não tem muita experiência em conduzir um debate público verdadeiramente democrático sobre temas de ciência e tecnologia - algo foi feito em relação aos transgênicos, mas o jeito como o debate foi conduzido deixou a desejar. A discussão sobre a nanotecnologia, hoje restrita ao governo, ao setor industrial e, sobretudo, ao meio acadêmico, precisa incluir a sociedade, o que impõe um desafio ao jornalismo científico. Cabe a jornalistas e popularizadores da ciência dar visibilidade à nanotecnologia e fazer com que discussões sóbrias sobre o tema cheguem ao grande público. Destaca-se a importância da sobriedade: o cidadão comum precisa saber que a nanotecnologia não é um monte de robôs minúsculos invadindo o planeta e o corpo humano; ele precisa saber que, apesar das promessas fantásticas, a nanotecnologia de hoje é mundana e, mesmo assim, ela tem grandes potencialidades e requer certos cuidados.

No que diz respeito ao desenvolvimento da nanotecnologia, ele tem hoje, basicamente, duas tendências mundiais: uma ligada aos materiais e outra ligada às ciências da vida. (ALVES, 2005a) Ambas já são encontradas no Brasil. A autora desta dissertação verificou que os relatos de resultados de pesquisa e as opiniões de especialistas apontam a nanotecnologia aplicada à saúde como uma área promissora para o país. No Brasil, a medicina poderá ser muito beneficiada pelos avanços da nanotecnologia. Importantes

projetos que visam a aplicações na área da saúde estão em andamento na Unicamp, UnB, UFRGS, UFPE etc, além de algumas empresas que começam a se interessar pelo assunto. (Ibid, 2005) Além de já haver alguma infra-estrutura, recursos humanos, experiências e conhecimentos prévios nesse campo, ele acena com possibilidades que podem beneficiar desde os cosméticos<sup>14</sup> até o tratamento para doenças negligenciadas, como tuberculose e leishmaniose. Em outras palavras, a nanotecnologia aplicada à saúde pode satisfazer tanto os interesses econômicos (cosméticos) como os sociais (doenças negligenciadas). Isso sem contar potenciais avanços em métodos de diagnóstico e para o enfrentamento de doenças como câncer e Aids.

Um caso que aproxima a nanotecnologia da medicina foi divulgado recentemente. Sediada no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (Cietec), na USP, a Incrementha - fruto da parceria dos laboratórios farmacêuticos Biolab e Eurofarma para promover o desenvolvimento e a inovação tecnológica de medicamentos - anunciou que um anestésico de uso tópico com nanotecnologia deve chegar ao mercado no final de 2008. Com seu pedido de patente já depositado, o medicamento, que dispensa as agulhas, foi aprovado nos experimentos com animais e o início dos testes em humanos está previsto para o final de junho. (JUSTE, 2007) Os benefícios esperados do anestésico nanotecnológico incluem diminuição da dose, maior rapidez de ação e prolongamento dos efeitos terapêuticos. O produto foi desenvolvido na UFRGS, por meio de uma parceria universidade-empresa, com o apoio do CNPq. (*Trama Comunicação*, 25/04/2007)

Contudo, ao mesmo tempo em que a nanotecnologia (ou a nanobiotecnologia) pode oferecer uma série de benefícios ao setor de saúde, ela também pode trazer riscos. Isso porque fármacos e vacinas nanoestruturados, assim como nanopartículas livres de modo geral, poderiam, em tese, se dispersar sem controle no meio ambiente e no corpo humano, sendo capazes, inclusive, de ultrapassar a barreira hematoencefálica. Quando as nanopartículas estão aderidas a uma matriz ou substrato - como ocorre em materiais poliméricos ou cerâmicos com propriedades novas e otimizadas devido à incorporação de nanopartículas -, o risco de dispersão é menor, o que não exime os fabricantes da responsabilidade de assegurar a segurança dos produtos.

Daí a necessidade de se estudar as aplicações da nanotecnologia, em especial no setor da saúde, e também de se avaliar a segurança da tecnologia para o ser humano e os ecossistemas. Neste sentido, ressalta-se que, além do envolvimento do MCT, seria importante uma ação coordenada com outros ministérios, sobretudo o da Saúde. A expectativa é que todas as questões suscitadas nesta dissertação, que buscou compreender a dinâmica da nanotecnologia no Brasil, possam contribuir para a melhor estruturação de um programa sobre o tema no próximo PPA, que deverá ser elaborado ainda este ano.

Mark C. Suchman divide em quatro níveis as perspectivas das ciências sociais em relação à nanotecnologia: observação (do campo emergente e de seus impactos); comunicação (diálogo entre pesquisadores e grande público); remediação (controle dos efeitos indesejáveis antes que eles se tornem demasiadamente severos); e reestruturação (de laboratórios, disciplinas, firmas, mercados, profissionais e estados). (SUCHMAN, 2003) Apesar de suas limitações – como a falta de visitas a laboratórios e de entrevistas com representantes do setor industrial –, esta dissertação oferece contribuições ao primeiro nível, o da observação. A expectativa é dar continuidade ao trabalho por meio de uma análise mais detalhada da percepção da nanotecnologia, não só junto aos pesquisadores, mas também junto aos empresários e ao grande público, aproximando-se do segundo nível, a comunicação, área à qual pertence à autora desta dissertação.

## NOTAS

<sup>1</sup> Desde antes do uso sistemático do termo nanotecnologia, o Brasil vem acumulando infra-estrutura para pesquisas na área. A criação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas, é um exemplo disso. Segundo informações do boletim eletrônico *LQES NEWS*, entre as aquisições mais recentes, destacam-se, por exemplo, dois equipamentos instalados no Centro de Componentes Semicondutores da Unicamp. Com financiamento do CNPq e da Finep, foi adquirido e entrou em funcionamento o Raman Spectroscopy AFM System, do modelo NTEGRA Spectra, da empresa NT-MDT. O aparelho já beneficia projetos relacionados, por exemplo, ao estudo das propriedades estruturais, ópticas, químicas e elétricas de materiais nanoestruturados. O outro equipamento é o Focused Ion Beam (FIB)/Scanning Electron Microscopy (SEM), do modelo NanoLab200, da empresa FEI. Financiada pela Fapesp, o microscópio, que integra múltiplas funções, é o primeiro do gênero no hemisfério sul, e abre oportunidades para projetos nas áreas de fabricação e caracterização em escala nanométrica. Ele é compartilhado por projetos de Institutos do Milênio.

<sup>2</sup> Chegar à nanotecnologia por meio da evolução de linhas de pesquisa mais antigas contrasta com o discurso da nanotecnologia revolucionária, o que será discutido adiante. No dia 23/03/2007, durante o seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde, promovido pelo Projeto Ghente e realizado na Escola Nacional de Saúde Pública (Ensp) da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), no Rio de Janeiro, o sociólogo Paulo Martins, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), disse que o salto sem precedentes não é devido somente à nanotecnologia, mas à convergência de tecnologias que se observa hoje. À nanotecnologia, somam-se a biotecnologia, a tecnologia da informação e os desenvolvimentos associados às neurociências.

<sup>3</sup> No editorial do *Journal of the Brazilian Chemical Society* em novembro-dezembro/2006, o diretor de Inovação da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Evando Mirra, define inovação como a introdução de novos processos, produtos e serviços, isto é, o conhecimento levado ao mercado e à prática social.

<sup>4</sup> Em entrevista ao boletim eletrônico *Inovação Unicamp*, em julho de 2005, o engenheiro químico Marcelo Amaral, representante das Indústrias Químicas Taubaté, queixou-se que as empresas na Europa, Estados Unidos e Ásia recebem bem mais apoio governamental do que as empresas brasileiras.

<sup>5</sup> No dia 23/03/2007, durante o seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde, promovido pelo Projeto Ghente e realizado na Ensp/Fiocruz, o sociólogo Paulo Martins, do IPT, disse que a consulta pública sobre o programa de nanotecnologia no âmbito do PPA 2004-2007 resultou em uma série de observações sobre impactos na saúde, no meio ambiente e na sociedade, mas foi engavetada, após mudança de ministro. Martins também contou que o único edital de nanotecnologia que contemplou as ciências sociais (Edital 013/2004) só foi lançado após uma conversa sua com José Roberto Leite, então diretor do CNPq.

<sup>6</sup> Boa parte dessas iniciativas foi divulgada no boletim eletrônico *LQES NEWS*. Editor científico do boletim e coordenador científico do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES) da Unicamp, Oswaldo Luiz Alves visa "sensibilizar a comunidade científica brasileira que atua na área das nanotecnologias para a necessidade de começarmos a pensar concretamente no desenvolvimento de pesquisas para fazer face às preocupações com meio ambiente e saúde humana, uma vez que, também no Brasil, já contamos não só com empresas que estão introduzindo nanoestruturas em seus produtos, como também com um grande número de laboratórios de pesquisa universitários que trabalham com estes materiais", conforme escreveu no artigo *Toxicidade dos nanotubos: meio ambiente e saúde esperam respostas*, de 2007, disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_divulgacao56-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao56-1.html)>.

<sup>7</sup> Vale destacar que existem vários tipos de nanotubos, com diferentes números de paredes, sintetizados com diferentes catalisadores metálicos etc, de modo que cada tipo pode ter um comportamento distinto.

<sup>8</sup> Segundo notícia divulgada pelo *LQES NEWS* em 18/12/2006, o City Council da cidade de Berkeley, nos Estados Unidos, pretende regular a nanotecnologia. A idéia é fazer emendas nas leis de modo a compelir pesquisadores e fabricantes a informarem quais materiais nanotecnológicos estão utilizando e como controlam as nanopartículas. A notícia está disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_divulgacao55-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao55-1.html)>.

<sup>9</sup> Por e-mail à autora desta dissertação, em 10/08/2006, a Coordenação Geral do Programa de Pesquisa em Ciências Exatas (CGCEX) confirmou que ela é a unidade que concentra o maior número de ações em nanociências e nanotecnologia do CNPq.

<sup>10</sup> Em entrevista ao boletim eletrônico *Inovação Unicamp*, em janeiro de 2006, o professor Fernando Galembeck, da Unicamp, disse que restrições ao desenvolvimento da nanotecnologia atingiriam os projetos sérios, mas não inibiriam os irresponsáveis, que continuariam mesmo ilegalmente.

<sup>11</sup> O engenheiro Neil Gershenfeld fez uma espécie de releitura das idéias de Drexler. A revista *Exame* publicou, em sua edição de 29 de março de 2006, uma matéria sobre o "fabricador pessoal" ou "FabLab", máquina que teria sido criada por Gershenfeld, diretor do Centro para Átomos e Bits do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) e autor do livro *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop - From PC to Personal Fabrication*, ainda sem tradução para o português. Segundo a reportagem, os protótipos do FabLab já funcionam e o curso ministrado por Gershenfeld no MIT - intitulado *Como fazer (quase) qualquer coisa* - são bastante concorridos. Ainda de acordo com a matéria, com o tal equipamento, algumas teriam produzido "um saco de gritos" e "um despertador que logo depois de estrilar na hora marcada pula da mesa de cabeceira e sai rolando pelo quarto, cada dia escondendo-se debaixo de um móvel diferente". O curso tem filiais em diferentes parte do mundo, como na Índia, onde os estudantes teriam produzido um sensor para medir o teor de gordura do leite; e em Gana, onde teriam sido construídos moedores de mandioca. O FabLab é composto por várias ferramentas caras, como cortadores de jatos de água supersônicos, lasers de alta potência e microscópios de força atômica para mover moléculas uma a uma. "O pulo-do-gato de Gershenfeld é fazer com que elas operem conectadas para, literalmente, esculpir os objetos desejados com a precisão de um milionésimo de metro", diz a reportagem, que anuncia também que a futura geração da máquina poderia "se replicar e construir seus clones, barateando ainda mais os custos". As idéias de Gershenfeld, portanto, se assemelham aos montadores auto-replicantes idealizados por Drexler, que também atuou no MIT.

<sup>12</sup> O adjetivo 'moderna' foi usado no sentido de relativa aos tempos mais próximos de nós, e não deve ser confundido com o movimento artístico modernista.

<sup>13</sup> Para os propósitos desta dissertação, foram consideradas somente duas perspectivas: a radical (ou revolucionária) e a incremental (dentro da qual a evolucionária pode ser inserida).

<sup>14</sup> No dia 23/03/2007, durante o seminário *Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde*, promovido pelo Projeto Ghente e realizado na Ensp/Fiocruz, o químico Nelson Duran, da Unicamp, listou medicamentos com nanotecnologia que estariam recebendo aprovação nos Estados Unidos, pelo Food and Drug Administration (FDA), a maioria deles destinados ao tratamento de doenças terminais. Comentou também que haveria alguns a caminho do Brasil. No

mesmo evento, o especialista em biossegurança Silvio Valle, da Fiocruz, lembrou que, enquanto os transgênicos chegaram ao cidadão comum via agricultura, a nanotecnologia está sendo introduzida pelo segmento de produtos de beleza (cosméticos). Segundo ele, a estratégia da nanotecnologia tem maior poder de persuasão e, por isso, é preciso redobrar a atenção sobre riscos e impactos.

## REFERÊNCIAS

- A CULTURA da inovação incremental. *Facto/ Abifina*, ed. 2, julho-agosto/2006, Tendências. Disponível em <[www.abifina.org.br/factoNoticia.asp?cod=139](http://www.abifina.org.br/factoNoticia.asp?cod=139)>. Acesso em 07/05/2007.
- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 23-40, agosto/2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- ALVES, Oswaldo. A propósito da Nanotecnologia: como serão os profissionais da área?. Entrevista ao jornal Folha de S. Paulo. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2005a. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas19-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas19-1.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- ALVES, Oswaldo. Diálogo entre os sistemas. Entrevista à revista Foco. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2005b. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos\\_vista\\_entrevista\\_18-1\\_focoeconomia.pdf](http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_entrevista_18-1_focoeconomia.pdf)>. Acesso em 12/04/2007.
- ALVES, Oswaldo. Toxicidade dos nanotubos: meio ambiente e saúde esperam respostas. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/01/2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_divulgacao56-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao56-1.html)>. Acesso em 17/01/2007.
- ARARIPE, Flaminio. Oswaldo Luiz Alves prevê mercado de mais de US\$ 1 trilhão para nanotecnologia em 2010. *Jornal da Ciência e-mail*, n. 3064, 24/07/2006. Disponível em <[www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=39341](http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=39341)>. Acesso em 07/05/2007.
- BARIFOUSE, Rafael. Inovadores. *Época Negócios*, São Paulo, ed. 1, março/2007. Disponível em <<http://epocanegocios.globo.com/Revista/Epocanegocios/0,,EDG76598-8385-1-2,00.html>>. Acesso em 10/04/2007.
- BARLEM, Tamara. *Evolução de Depósitos de Patentes de Nanotecnologia Aplicada a Polímeros*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/tgb.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/tgb.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- BNDES aprova criação de novo fundo para micro e pequenas empresas inovadoras. *BNDES – Notícias*, 18/01/2007. Disponível em <[www.bndes.gov.br/noticias/2007/not012\\_07.asp](http://www.bndes.gov.br/noticias/2007/not012_07.asp)>. Acesso em 07/05/2007.
- BOFF, Leonardo. Nanotecnologia: "o pequeno irmão"?. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, Opinião, p. A10, 19/03/2007.
- BONALUME NETO, Ricardo. Construção do computador quântico fica mais próxima. *Folha On Line*, São Paulo, Informática, 20/04/2006. Disponível em <[www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u19893.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u19893.shtml)>. Acesso em 06/05/2007.
- BRUM, Lia. Direto ao ponto – Nanopartículas transportam substância antitumoral até células leucêmicas. *Ciência*

- Hoje On-line*, 01/09/2005. Disponível em <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3581>>. Acesso em 19/06/2007.
- BUENO, Rachel. Produto desenvolvido pelas Indústrias Químicas Taubaté incorpora nanotecnologia e está no mercado; empresa tem mais no *pipeline*. *Inovação Unicamp*, ed. 36, 28/07/2005. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-IQT.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-IQT.shtml)>. Acesso em 10/04/2007.
  - BUENO, Rachel. Relatório de instituto norte-americano defende regulação ambiental para produtos que incorporem nanotecnologia. *Inovação Unicamp*, ed. 47, 23/01/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-leinano2006.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-leinano2006.shtml)>. Acesso em 06/05/2007.
  - CERIMÔNIA de premiação de jovens cientistas. *Boletim do Acadêmico/ Academia Brasileira de Ciências (ABC)*, ano V, n. 210, 27/09/2006. Disponível em <<ftp://ftp.abc.org.br/ba/baV210/index.html#np1>>. Acesso em 06/05/2007.
  - DUPAS, Gilberto. *O mito do progresso*. São Paulo: Editora Unesp, 309 p., 2006.
  - DURAN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar de. *Nanotecnologia - Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber Editora, 208 p., 2006.
  - DURAN, Nelson. Comunicação oral no seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde/ Projeto Ghente. Rio de Janeiro: Ensp/Fiocruz, 23/03/2007.
  - EM 2007 COMEÇA a funcionar o primeiro mestrado em Nanociências aprovado pela CAPES. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/01/2007a. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2007/lqes\\_news\\_novidades\\_897.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2007/lqes_news_novidades_897.html)>. Acesso em 06/05/2007.
  - EPA (AGÊNCIA de Proteção Ambiental Norte-americana) resolve "ir fundo" no estudo dos efeitos da nanotecnologia (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006a. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_751.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_751.html)>. Acesso em 06/05/2007.
  - ERENO, Dinorah. Trama invisível. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, ed. 122, abril/2006. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2942&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2942&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 06/05/2007.
  - ESTUDO Nanotecnologia. Núcleo de Assuntos Estratégicos/ Presidência da República. 2007. Disponível em <[www.nae.gov.br/estudo\\_nanotecnologia.html](http://www.nae.gov.br/estudo_nanotecnologia.html)>. Acesso em 20/06/2007.
  - FAZZIO, Adalberto; SILVA, Antônio José Roque da. Na idade das nanoligas metálicas. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, vol. 39, n. 234, p. 10-11, janeiro-fevereiro/2007.
  - FERREIRA, Luís Gomes. *Erário Mineral*. Lisboa Ocidental: Oficina de Miguel Rodrigues, 1735.
  - FÍSICOS brasileiros ganham destaque internacional. *Cenário XXI*, Campinas, p. 6, 29/08/2004.
  - FOLADORI, Guillermo. Nanoscience and nanotechnology in Latin America. *Nanowerk Spotlight*, 24/08/2006. Disponível em <[www.nanowerk.com/spotlight/spotid=767.php](http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=767.php)>. Acesso em 06/05/2007.
  - GELDART, Alison; JONES, Richard; WOOD, Stephen. *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology*. Reino Unido: Economic & Social Research Council, p. 63, 2003. Disponível em

- <[www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology\\_tcm6-5506.pdf](http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology_tcm6-5506.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- GELDART, Alison; JONES, Richard; WOOD, Stephen. *Nanotechnology: from the science to the social - The social, ethical and economic aspects of the debate*. Reino Unido: Economic & Social Research Council, 51 p., 2007. Disponível em <[www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology\\_tcm6-5506.pdf](http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology_tcm6-5506.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
  - GOUVEIA, Flavia. Mercado contribui para má compreensão da nanotecnologia. *Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo (Labjor), MídiaCiência - Notícias*, 11/12/2006. Disponível em <[www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/noticias.php3?id\\_article=382](http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/noticias.php3?id_article=382)>. Acesso em 10/04/2007.
  - INCREMENTHA lança primeiro fármaco brasileiro desenvolvido com nanotecnologia. *Trama Comunicação, Press Release*, 25/04/2007. Disponível em <[www.tramaweb.com.br/cliente\\_ver.asp?Cod\\_cli=75&Cod\\_Not=4029](http://www.tramaweb.com.br/cliente_ver.asp?Cod_cli=75&Cod_Not=4029)>. Acesso em 07/05/2007.
  - INDÚSTRIAS Químicas Taubaté. Taubarez T 940. Disponível em <[www.iqt.com.br/prod\\_detalhes.php?id=50](http://www.iqt.com.br/prod_detalhes.php?id=50)>. Acesso em 10/04/2007.
  - INSTITUTO de Tecnologia de Dublin avalia a toxicidade das nanopartículas sobre as células humanas (Tradução). *LQES NEWS*, 2006b. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_858.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_858.html)>. Acesso em 06/05/2007.
  - INVERNIZZI, Noela; FOLADORI, Guillermo. As nanotecnologias como solução da pobreza?. *Inclusão Social*, Brasília, vol. 1, n. 2, p. 66-72, abril-setembro/2006. Disponível em <[www.ibict.br/revistainclusaosocial/include/getdoc.php?id=154&article=17&mode=pdf](http://www.ibict.br/revistainclusaosocial/include/getdoc.php?id=154&article=17&mode=pdf)>. Acesso em 07/05/2007.
  - JUSTE, Marília. Brasileiros criam anestésico nanotecnológico. *G1, São Paulo*, 26/04/2007, Ciência e Saúde. Disponível em <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL27012-5603-2723,00.html>>. Acesso em 07/05/2007.
  - MACHADO, Antonio Eduardo da Hora. *Viabilização da empresa Nanobrax, Soluções Tecnológicas - Relatório Técnico Referente ao Edital CT-Biotecnologia/MCT/CNPq 058/05*. Uberlândia: 17 p., novembro/2006. Documento remetido por Machado, via e-mail, à autora desta dissertação, em 05/12/2006.
  - MACOUBRIE, Jane. Nanotechnology: public concerns, reasoning and trust in government. *Public Understanding of Science*, vol. 15, n. 2, p. 221-241, 2006. Disponível em <<http://pus.sagepub.com/cgi/content/abstract/15/2/221>>. Acesso em 06/05/2007.
  - MARTINELLI, Paulo. Ultra-rápidos, promissores e minúsculos nanocristais. *Cenário XXI*, Campinas, p. 7, 29/08/2004.
  - MARTINS, Paulo. Comunicação oral no seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde/ Projeto Ghente. Rio de Janeiro: Ensp/Fiocruz, 23/03/2007.
  - MASSAMBANI, Oswaldo. *A produção de conhecimento e a inovação em nanotecnologias na USP*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/om.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/om.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.

- MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégico), Brasília, n. 18, p. 9-22, agosto/2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- MIRANDA, Roberto. Efectos de tamaño cuántico y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras. *Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología/ Tribuna de debate*, n. 35, março-abril/2006. Disponível em <[www.madrimas.org/revista/revista35/tribuna/tribuna1.asp](http://www.madrimas.org/revista/revista35/tribuna/tribuna1.asp)>. Acesso em 19/06/2007.
- MIRRA, Evando. Entrevista exclusiva a Oswaldo Luiz Alves. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006a. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas20-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas20-1.html)>. Acesso em 07/05/2007.
- MIRRA, Evando. Editorial. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 17, n. 7, novembro-dezembro/2006b. Disponível em <[www.scielo.br/pdf/jbchs/v17n7/00.pdf](http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v17n7/00.pdf)>. Acesso em 07/05/2007.
- MOORE, Julia A. Small science, big challenge. *Nature*, vol. 442, p. 747, 17/08/2006.
- MURIELLO, Sandra. O que os italianos pensam da nanotecnologia?. *Ciência e Cultura*, vol. 59, n. 1, p. 18-19, janeiro-março/2007. Disponível em <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n1/a10v59n1.pdf>>. Acesso em 16/04/2007.
- NANOCARE: saúde e meio ambiente sob vigilância (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006c. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_741.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_741.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- "NANOERA" vai mudar paradigmas em várias áreas do conhecimento. *Agência CT*, 30/10/2005. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/30646.html?toPrint=yes>>. Acesso em 07/05/2007.
- NANOPARTÍCULAS agem contra o câncer. *O Estado de São Paulo, Vida&*, p. A15, 11/04/2006.
- NANOTECNOLOGIA está no dia-a-dia da indústria, dizem promotores; palestrantes incluem dono da Lux Research e da CDT, de OLEDs. *Inovação Unicamp*, ed. 65, 02/10/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec2006.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec2006.shtml)>. Acesso em 12/04/2007.
- NANOX: <[www.nanox.com.br/empresa/](http://www.nanox.com.br/empresa/)>. Acesso em 06/05/2007.
- NICOLSKY, Roberto. Destravando o crescimento. *Folha de S. Paulo*, 01/03/2007, Opinião, p. A3. Disponível em <[www.protec.org.br/artigos.asp?cod=60](http://www.protec.org.br/artigos.asp?cod=60)>. Acesso em 07/05/2007.
- O BOTICÁRIO. Vitactive nanoserum anti-sinais 20ml. Disponível em <<http://internet.boticario.com.br/portal/site/produtos/menuitem.035f3305bdd396dd15c55f8d3a108a0c/?home=nao&idCanal=95619ec0eb1d3010VgnVCM100000a201a8c0RCRD&secao=produtos&subsecao=mulheres&idProduto=aa8cdda26ba8b010VgnVCM1000002b04650aRCRD>>. Acesso em 12/04/2007.
- OLIVEIRA, Flávia. Nanotecnologia pode ter crédito do BNDES. *O Globo*, Rio de Janeiro, Economia/Negócios & cia, p. 33, 05/05/2007.
- PARKS, Noreen. New Nano-headache?. *ScienceNOW Daily News*, 15/06/2006. Disponível

- em <<http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2006/615/1>>. Acesso em 07/05/2007.
- PERCEPÇÃO Pública da Ciência e Tecnologia. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 69 p., 2007. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/13511.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/13511.pdf)>. Acesso em 23/05/2007.
  - PESQUISADORA brasileira ganha Prêmio nos Estados Unidos. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 17/07/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_803.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_803.html)>. Acesso em 06/05/2007.
  - PINTO, Valéria (Funcionária da Fundacentro). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 23/05/2007.
  - PIRES, Letícia. A indústria do átomo. *Amanhã*, ed. 218, março/2006. Disponível em <<http://amanha.terra.com.br/edicoes/218/capa01.asp>>. Acesso em 06/05/2007.
  - PROJECT On Emerging Nanotechnologies: Inventory of Nanotechnology Consumer Products: <[www.nanotechproject.org/44](http://www.nanotechproject.org/44)>. Acesso em 06/05/2007.
  - PROJETO Engajamento Público em Nanotecnologia. *Jornal da Ciência e-mail*, n. 3244, 16/04/2007. Disponível em <[www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=46158](http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=46158)>. Acesso em 23/05/2007.
  - QUEM é Belita Koiller, brasileira vencedora do Prêmio L'Oréal-Unesco For Women in Science 2005. *L'Oréal Brasil – Notícias*, 04/03/2005. Disponível em <[www.loreal.com.br/\\_pt/\\_br/news/full\\_article.aspx?NewsID=ad6c5bb2-f15a-4e6b-8e7a-985d017aebd1&r=1&sr=1](http://www.loreal.com.br/_pt/_br/news/full_article.aspx?NewsID=ad6c5bb2-f15a-4e6b-8e7a-985d017aebd1&r=1&sr=1)>. Acesso em 06/05/2007.
  - SANT'ANNA, J. P.; AZEVEDO, M. Petroquímicas divulgam aporte em nanotecnologia. *Plástico Moderno*, ed. 386, dezembro/2006. Disponível em <[www.plastico.com.br/revista/pm386/noticias2.html](http://www.plastico.com.br/revista/pm386/noticias2.html)>. Acesso em 06/05/2007.
  - SANTISTA Têxtil entra na era da nanotecnologia. *Santista Têxtil – Notícias*, 08/11/2006. Disponível em <[www.santistatextil.com.br/site/content/institucional/noticias\\_texto.asp?campo=1352&noticia\\_mes=11&noticia\\_ano=2006&secao\\_id=657&home=sim](http://www.santistatextil.com.br/site/content/institucional/noticias_texto.asp?campo=1352&noticia_mes=11&noticia_ano=2006&secao_id=657&home=sim)>. Acesso em 10/04/2007.
  - SERVICE, Robert F. U.S. Nanotechnology - Health and Safety Research Slated for Sizable Gains. *Science*, vol. 315, p. 926, 16/02/2007.
  - SPARROW, Rob. *Widespread hypocrisy about nanotechnology is a worrying sign*. Austrália: Friends of the Earth, 8 p., 2007. Disponível em <<http://nano.foe.org.au/filestore2/download/191/Worrying%20hypocrisy%20about%20nanotechnology%20Sparrow%202007.pdf>>. Acesso em 28/03/2007.
  - STONE, Vicki; DONALDSON, Ken. Nanotoxicology - Signs of stress. *Nature Nanotechnology*, vol. 1, p. 23-24, outubro/2006.
  - SUCHMAN, Mark C. *Social Science and Nanotechnology*. Estados Unidos: University of Wisconsin-Madison, 6 p., 2003. Disponível em <[www.ssc.wisc.edu/~suchman/publications/EUnano.pdf](http://www.ssc.wisc.edu/~suchman/publications/EUnano.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
  - SUGGAR lança lavadoras com nanotecnologia. *Jornal da Ciência e-mail*, n. 3278, 05/06/2007. Disponível em <[www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=47604](http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=47604)>. Acesso em 06/06/2007.

- SUZANO PETROQUÍMICA apresenta produtos inéditos feitos com nanotecnologia. *Suzano Petroquímica*, 07/11/2006. Disponível em <[www.polodecamacari.com.br/navitacontent\\_/dbfiles/E6AE9267-E56D-E8E9-92FF74234F94A9D3.arquivo.pdf?04A063E0-E5AF-3D80-F157A2A7403F681F](http://www.polodecamacari.com.br/navitacontent_/dbfiles/E6AE9267-E56D-E8E9-92FF74234F94A9D3.arquivo.pdf?04A063E0-E5AF-3D80-F157A2A7403F681F)>. Acesso em 06/05/2007.
- SWART, Jacobus. Entrevista exclusiva a Oswaldo Luiz Alves. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/04/2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas27-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas27-1.html)>. Acesso em 17/04/2007.
- TAIFF Titanium. Disponível em <[www.taiff.com.br/index.php?module=ContentExpress&func=print&ceid=81](http://www.taiff.com.br/index.php?module=ContentExpress&func=print&ceid=81)>. Acesso em 10/04/2007.
- TESTES in vivo com nanotubos de carbono: primeiros resultados são encorajadores (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/01/2007b. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2007/lqes\\_news\\_novidades\\_896.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2007/lqes_news_novidades_896.html)>. Acesso em 17/01/2007.
- TOMA, Henrique E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina de Textos, 105 p., 2004.
- TRABALHO de pesquisadores brasileiros envolvendo fungos e nanopartículas recebe o status de "Highly Accessed" no periódico *Journal of Nanobiotechnology*. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/02/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_730.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_730.html)>. Acesso em 06/05/2007.

## CAPÍTULO 13: CONCLUSÕES

- Embora esta dissertação contenha dados relativos à indústria e à sociedade, o trabalho trata, principalmente, das percepções da comunidade de pesquisa acadêmica e de política científica sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil.
- A pesquisa em nanotecnologia no Brasil é considerada satisfatória. Embora com outros nomes, essa pesquisa teve início há, pelo menos, 20 anos. Desde então, de forma gradual, o país acumula facilidades de pesquisa, forma mais recursos humanos e gera mais conhecimentos na área, estes medidos pelo aumento do número de artigos científicos publicados.
- Quando, influenciado pelo lançamento da iniciativa norte-americana em nanotecnologia, o governo federal brasileiro iniciou suas ações oficiais específicas para o setor, na virada para o século XXI, já havia no país alguma *expertise* na área, sobretudo nas universidades e centros de pesquisa. Isso facilitou o desenvolvimento posterior da nanotecnologia no Brasil, que tem pesquisas consideradas competitivas no contexto mundial.
- Talvez isso alimente o discurso segundo o qual a nanotecnologia, encarada como novidade para o mundo todo, pode dissolver as desigualdades entre os países. Tal discurso parte do princípio de que, na corrida da nanotecnologia, os países largam em posições próximas. Contudo, é preciso levar em conta as diferenças históricas entre eles. Assim, a nanotecnologia pode até contribuir para o desenvolvimento de países como o Brasil, mas ela, sozinha, não apagará aquelas desigualdades históricas. De forma resumida, a situação brasileira é considerada frágil em comparação a Estados Unidos, Europa, Japão e Tigres Asiáticos, mas forte em comparação aos vizinhos da América Latina.
- Uma das primeiras ações oficiais específicas em nanotecnologia do governo federal brasileiro foi organizar as competências existentes no país em redes. Estas são bem vistas pela maioria dos pesquisadores entrevistados pela autora desta dissertação, na medida em que a estratégia permitiu otimizar os não abundantes recursos humanos e materiais disponíveis.
- O desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil pode ser dividido em fases. A primeira começa nos anos 80, quando a palavra nanotecnologia ainda era desconhecida por aqui, mas cientistas enveredaram pela área por diversos motivos, entre eles a evolução de linhas de pesquisa que exigiam a manipulação e o controle da matéria na escala dos átomos e moléculas. A segunda se concentra entre 2000 e 2002, quando o governo federal, em especial o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), é impelido a agir devido à visibilidade adquirida pela

nanotecnologia no contexto mundial. Esse período se caracteriza pelas tentativas de 'botar ordem na casa', isto é, mapear as competências e facilidades de pesquisa já existentes e organizá-las em redes temáticas. A terceira se iniciou por volta de 2003 e dura até hoje. Nessa etapa, os discursos apontam fortemente a nanotecnologia como instrumento a favor do desenvolvimento nacional, sobretudo por meio da inovação e do aumento da competitividade da indústria. A quarta etapa pode ter início nos próximos anos, caracterizada pela concretização dos primeiros frutos da inovação industrial proporcionada pela nanotecnologia e por uma avaliação mais realista de seus impactos tecnológicos, econômicos e sociais.

- Como uma espécie de herança do pesquisador norte-americano Eric Drexler, o primeiro a receber o título de doutor em nanotecnologia molecular, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), a nanotecnologia chegou ao Brasil associada à idéia de revolução tecnológica. Contudo, os primeiros desenvolvimentos na área, no mundo e aqui no país, são mais inovações incrementais do que inovações radicais. Além disso, os discursos, de documentos consultados e pesquisadores entrevistados, muitas vezes, têm componentes aparentemente contraditórios: encara-se a nanotecnologia como novidade, mas lembra-se que ela tem origens antigas. A conclusão a que se chega é que a nanotecnologia está mais para uma novidade com precedentes, ou seja, ela seria, de fato, menos revolucionária do que suas ambiciosas promessas.
- Embora as promessas mais revolucionárias da nanotecnologia permaneçam no porvir, suas inovações incrementais são importantes economicamente para o crescimento e para a competitividade internacional dos países, de modo que as inovações incrementais da nanotecnologia devem receber incentivo no Brasil.
- A inovação em nanotecnologia no Brasil é considerada deficitária e as principais razões apontadas ainda incluem falta de interação entre os setores acadêmico e industrial e baixo investimento das empresas brasileiras em pesquisa e desenvolvimento. Contudo, esta dissertação identificou um movimento no sentido de promover a inovação em nanotecnologia. O discurso pró-inovação ainda é mais forte do que a prática, mas cientistas se mostram interessados em fazer parcerias com o setor industrial e políticas científicas buscam incentivar essa articulação entre academia e empresas.
- Para que a nanotecnologia efetivamente reforce o potencial inovador brasileiro, é preciso acelerar o processo em curso. Uma estratégia seria definir melhor quais os focos onde serão concentrados os esforços e os investimentos. Seria bom poder investir em tudo, mas, no Brasil, a reclamação de falta de recursos é recorrente. Dessa forma, o foco poderia recair, por exemplo, na nanotecnologia aplicada à

saúde, área na qual pode haver retornos financeiros e sociais. Além disso, na área da saúde, já existe uma *expertise* acumulada.

- Os impactos sociais da nanotecnologia ainda são pouco estudados no Brasil, assim como seus potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente. Faltam estudos sobre a percepção do cidadão comum sobre o tema, que, possivelmente, é desconhecido pela maioria da população. Dessa forma, há uma carência de participação popular nas discussões sobre os rumos da nanotecnologia no Brasil, restritas a um seleto grupo de 'homens da ciência'. E outro fator que pode atrapalhar o debate público sobre a nanotecnologia é a confusão de nomenclaturas (nanotecnologia/ nova/ revolucionária/ bottom-up *versus* nanociência/ antiga/ incremental/ top-down).

## REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO

- A CULTURA da inovação incremental. *Facto/ Abifina*, ed. 2, julho-agosto/2006, Tendências. Disponível em <[www.abifina.org.br/factoNoticia.asp?cod=139](http://www.abifina.org.br/factoNoticia.asp?cod=139)>. Acesso em 07/05/2007.
- A SHORT History of Nanotechnology (1959-2006). Foresight Institute. Disponível em <[www.foresight.org/nano/history.html](http://www.foresight.org/nano/history.html)>. Acesso em 27/05/2007.
- ACHETE, Carlos Alberto. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 18/01/2007.
- ACORDO de Cooperação Brasil X Reino Unido (07/03/2006): <<http://acessibilidade.mct.gov.br/index.php/content/view/12282.html>>. Acesso em 15/06/2007.
- ALCÂNTARA, Léo. *Projeto de Lei 5.076/2005 - Relatório e Voto do Relator*. 8 p. Disponível em <[www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=315967](http://www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=315967)>. Acesso em 18/06/2007.
- ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh. *The most beautiful molecule: an adventure in chemistry*. Aurum: Londres, 1995.
- ALTMANN, Juergen. Nanotecnologia e a questão militar. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Semináriosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 35-41, 2006.
- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 23-40, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- ALVES, Oswaldo Luiz. *Desenvolvimento Científico da Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (janeiro de 1994 – julho de 2004)*. Campinas: 22 p., setembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7603.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7603.pdf)>. Acesso em 20/03/2007.
- ALVES, Oswaldo. *Nanociência e Nanotecnologia: um bom motivo para a Cooperação Científica Brasil-Argentina e a gestação do Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia*. 10 p., 2004-2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0011/11895.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0011/11895.pdf)>. Acesso em 12/06/2007.
- ALVES, Oswaldo. A propósito da Nanotecnologia: como serão os profissionais da área?. Entrevista ao jornal Folha de S. Paulo. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2005. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas19-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas19-1.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- ALVES, Oswaldo. Diálogo entre os sistemas. Entrevista à revista Foco. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2005. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos\\_vista\\_entrevista\\_18-1\\_focoeconomia.pdf](http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_entrevista_18-1_focoeconomia.pdf)>. Acesso em 12/04/2007.
- ALVES, Oswaldo. *Mapeamento da Competência Nacional em Nanociência e Nanotecnologia nos Últimos 10 Anos (1994 – 2004)*. Campinas: 23 p., fevereiro/ 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7604.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7604.pdf)>. Acesso em 19/03/2007.
- ALVES, Oswaldo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 12/03/2007.

- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia e o Agronegócio. Entrevista à revista Fundepag & Negócios. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas26-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas26-1.html)>. Acesso em 19/06/2007.
- ALVES, Oswaldo. Toxicidade dos nanotubos: meio ambiente e saúde esperam respostas. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/01/2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_divulgacao56-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao56-1.html)>. Acesso em 17/01/2007.
- AMARAL, Marcelo do. *A nanotecnologia como fator estratégico de inovação competitiva no setor químico – Indústrias Químicas Taubaté*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/ma.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/ma.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Subsídios para Cooperação Internacional em Nanotecnologia*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT, 20 p., dezembro/ 2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7707.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7707.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a consulta pública ao documento elaborado pelo GT de nanotecnologia*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT, 34 p., janeiro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2704.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2704.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a inclusão da nanotecnologia no Fundo Setorial de Petróleo e Gás*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT, 30 p., março/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2562.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2562.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a nanotecnologia no Edital MCT/CNPq 12/2004 – Produtos e Processos*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT, 8 p., dezembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8235.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8235.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a nanotecnologia no Edital MCT/CNPq 13/2004 – Impactos*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT, 7 p., dezembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8236.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8236.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- ANJOS, Márcio Augusto dos; MENDES, Alfredo de Souza; TAVARES, Eder Torres. *Relatório sobre a nanotecnologia no Fundo Setorial de Energia*. Brasília: Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT, 11 p., dezembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7698.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7698.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- APPLEWHITE, E. J. The Naming of Buckminsterfullerene. *The Chemical Intelligencer*, vol. 1, n. 3, julho/1995. Disponível em <<http://euch3i.chem.emory.edu/proposal/www.inetarena.com/~pdx4d/synergetica/eja1.html>>. Acesso em 03/11/2005.
- ARAKI, Koiti; TOMA, Henrique E. Nanociência e Nanotecnologia. *Ciência Hoje*, vol. 37, n. 217, p. 24-31, julho/2005.

- ARARIPE, Flaminio. Oswaldo Luiz Alves prevê mercado de mais de US\$ 1 trilhão para nanotecnologia em 2010. *Jornal da Ciência e-mail*, n. 3064, 24/07/2006. Disponível em <[www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=39341](http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=39341)>. Acesso em 07/05/2007.
- AREIAS, Manoel. *Tecidos com nanotecnologia – Santista Têxtil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mar.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mar.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- AROUCA, Maurício Cardoso. *Nanociências e Nanotecnologia: Iniciativas no Brasil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- AROUCA, Maurício Cardoso. *O desafio inovador brasileiro: O papel da FINEP – Agência Brasileira de Inovação*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mca.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mca.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
- AZEVEDO, Ricardo Bentes de. *Rede Brasileira de Nanobiomagnetismo (Apresentação)*. Bento Gonçalves: outubro/ 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0011/11620.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0011/11620.pdf)>. Acesso em 27/12/2006.
- BALL, Philip. Electronic tongue has good taste. *News@Nature*, 07/01/2002. Disponível em <[www.nature.com/news/2002/020107/full/020107-3.html](http://www.nature.com/news/2002/020107/full/020107-3.html)>. Acesso em 24/05/2007.
- BALL, Philip. What chemists want to know?. *Nature*, vol. 442, p. 500-502, 03/08/2006.
- BARIFOUSE, Rafael. Inovadores. *Época Negócios*, São Paulo, ed. 1, março/2007. Disponível em <<http://epocanegocios.globo.com/Revista/Epocanegocios/0,,EDG76598-8385-1-2,00.html>>. Acesso em 10/04/2007.
- BARLEM, Tamara. *Evolução de Depósitos de Patentes de Nanotecnologia Aplicada a Polímeros*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/tgb.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/tgb.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- BAUMVOL, Israel. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 30/10/2006.
- BENENSON, Yaakov; SHAPIRO, Ehud. Computadores de DNA ganham vida. *Scientific American Brasil*, ed. 49, p. 48-55, junho/2006.
- BINNING, Gerd; ROHRER, Heinrich; et al. Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. *Physical Review Letters*, vol. 49, p. 57-61, julho/ 1982.
- BINNING, Gerd; ROHRER, Heinrich. The Scanning Tunneling Microscope. *Scientific American*, vol. 253, p. 50-56, agosto/ 1985.
- BNDES aprova criação de novo fundo para micro e pequenas empresas inovadoras. *BNDES – Notícias*, 18/01/2007. Disponível em <[www.bndes.gov.br/noticias/2007/not012\\_07.asp](http://www.bndes.gov.br/noticias/2007/not012_07.asp)>. Acesso em 07/05/2007.
- BOFF, Leonardo. Nanotecnologia: "o pequeno irmão"?. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, Opinião, p. A10, 19/03/2007.
- BONALUME NETO, Ricardo. Construção do computador quântico fica mais próxima. *Folha On Line*, São Paulo, Informática, 20/04/2006. Disponível em <[www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u19893.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u19893.shtml)>. Acesso em 06/05/2007.
- BRASIL assina acordo para nanotecnologia. *Agência CT*, 09/04/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/43794.html>>. Acesso em 12/06/2007.

- BRASIL e Suíça debatem parcerias tecnológicas. *Agência CT*, 31/05/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/44473.html>>. Acesso em 12/06/2007.
- BRASIL participa de evento de nanotecnologia no Japão. *Embrapa – Notícias*, 27/02/2003. Disponível em <[www.embrapa.gov.br/noticias/banco\\_de\\_noticias/2003/fevereiro/bn.2004-11-25.9663345082/mostra\\_noticia](http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2003/fevereiro/bn.2004-11-25.9663345082/mostra_noticia)>. Acesso em 31/08/2006.
- BRASIL terá laboratório de nanotecnologia em 2007. *Embrapa – Notícias*, 17/11/2006. Disponível em <[www.embrapa.gov.br/noticias/banco\\_de\\_noticias/folder.2006/novembro/foldernoticia.2006-11-03.7853981089/noticia.2006-11-17.6543817656/mostra\\_noticia](http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/folder.2006/novembro/foldernoticia.2006-11-03.7853981089/noticia.2006-11-17.6543817656/mostra_noticia)>. Acesso em 12/06/2007.
- BRAZIL Day. The Royal Society. 2006. Disponível em <[www.royalsoc.ac.uk/page.asp?tip=1&id=4767](http://www.royalsoc.ac.uk/page.asp?tip=1&id=4767)>. Acesso em 15/06/2007.
- BRUM, Lia. Direto ao ponto – Nanopartículas transportam substância antitumoral até células leucêmicas. *Ciência Hoje On-line*, 01/09/2005. Disponível em <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3581>>. Acesso em 19/06/2007.
- BUENO, Rachel. Produto desenvolvido pelas Indústrias Químicas Taubaté incorpora nanotecnologia e está no mercado; empresa tem mais no *pipeline*. *Inovação Unicamp*, ed. 36, 28/07/2005. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-IQT.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-IQT.shtml)>. Acesso em 10/04/2007.
- BUENO, Rachel. Relatório de instituto norte-americano defende regulação ambiental para produtos que incorporem nanotecnologia. *Inovação Unicamp*, ed. 47, 23/01/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-leinano2006.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-leinano2006.shtml)>. Acesso em 06/05/2007.
- CAPAZ, Rodrigo B.; CHACHAM, Hélio. Nanotubos e a nova era do carbono. *Ciência Hoje*, vol. 33, n. 198, p. 20-27, outubro/ 2003.
- CAPOZZOLI, Ulisses. A ciência do pequeno em busca da maioria. *Scientific American Brasil*, ed. 1, junho/2002. Disponível em <[www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia\\_1.html](http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_1.html)>. Acesso em 02/06/2006.
- CASTRO, José d'Albuquerque e. *Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia*. 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/27144.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27144.html)>. Acesso em 17/06/2007.
- CASTRO, José d'Albuquerque e. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 04/03/2007.
- CBAN continua com inscrições abertas para curso em nanociência e nanotecnologia. *Agência CT*, 07/05/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/44125.html>>. Acesso em 12/06/2007.
- CENTRO Brasileiro de Pesquisas Físicas: <[www.cbpf.br](http://www.cbpf.br)>. Acesso em 31/08/2006.
- CENTRO de Nanociência e Nanotecnologia (CNANO), UnB, Projetos: <[www.unb.br/lb/cnano/projetos.htm](http://www.unb.br/lb/cnano/projetos.htm)>. Acesso em 28/12/2006.
- CENTRO de Tecnologias Estratégicas do Nordeste: <[www.bergbrandt.com.br/cetene/asp/home.asp](http://www.bergbrandt.com.br/cetene/asp/home.asp)>. Acesso em 31/08/2006.
- CERIMÔNIA de premiação de jovens cientistas. *Boletim do Acadêmico/ Academia Brasileira de Ciências*, ano V, n. 210, 27/09/2006. Disponível em <<ftp://ftp.abc.org.br/ba/baV210/index.html#np1>>. Acesso em 06/05/2007.
- CERTIFICAÇÃO de nanotubos. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 02/03/2006. Disponível em

- <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=1843](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=1843)>. Acesso em 18/01/2007.
- CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Nanotecnologia – 01/2004. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/editais/chamada\\_publica\\_MCT\\_FINEP\\_FNDCT\\_Nanotecnologia\\_01\\_2004.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/editais/chamada_publica_MCT_FINEP_FNDCT_Nanotecnologia_01_2004.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Nanotecnologia – 01/2004. Resultado. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/resultados/resultado%20nanotecnologia.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/resultados/resultado%20nanotecnologia.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Microeletrônica – 01/2005. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/editais/Chamada\\_Publica\\_MCT\\_FINEP\\_FNDCT\\_MICROELETRONICA\\_01\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/editais/Chamada_Publica_MCT_FINEP_FNDCT_MICROELETRONICA_01_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/FNDCT – Microeletrônica – 01/2005. Resultado. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/outras\\_chamadas/resultados/Resultado\\_Microeletronica\\_01\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/outras_chamadas/resultados/Resultado_Microeletronica_01_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/Ação Transversal – Nanotecnologia – 03/2005. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/acao\\_transversal/editais/Chamada\\_Publica\\_MCT\\_FINEP\\_Acao\\_Transversal\\_Nanotecnologia\\_03\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/editais/Chamada_Publica_MCT_FINEP_Acao_Transversal_Nanotecnologia_03_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAMADA Pública MCT/Finep/Ação Transversal – Nanotecnologia – 03/2005. Resultado. Disponível em <[www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/acao\\_transversal/resultados/resultado\\_aprovadas\\_Acao\\_Transversal\\_NANOTECONOLOGIA\\_03\\_2005.PDF](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/resultados/resultado_aprovadas_Acao_Transversal_NANOTECONOLOGIA_03_2005.PDF)>. Acesso em 01/09/2006.
  - CHAVES, Alaor. *Instituto do Milênio de Nanociências* (Apresentação no Workshop de Nanotecnologia e Nanociência Brasil/União Européia). São Paulo: dezembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7597.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7597.pdf)>. Acesso em 14/01/2007.
  - CHAVES, Alaor. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 02/03/2007.
  - COMIDA polêmica. *Revista O Globo*, Ciência e Vida, p. 42-44, 22/10/2006.
  - CONCLUSÕES do Workshop Nanotecnologia e Nanociência: Brasil – EU. MCT, 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/Temas/Nano/conclusoesWorkshop.htm](http://www.mct.gov.br/Temas/Nano/conclusoesWorkshop.htm)>. Acesso em 14/02/2006.
  - CONFERÊNCIA em nanociência. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 31/07/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=2168](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=2168)>. Acesso em 18/01/2007.
  - COSSENZA, Ana Paula. *Patentes em nanotecnologia*. V Bienal de Pesquisa. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2006.
  - CUNHA, Fernando (Assessor de Comunicação da Fapesp). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 15/08/2006.
  - CURRAL, Steven C. et al. What drives public acceptance of nanotechnology? *Nature Nanotechnology*, vol. 1, p. 153-155, dezembro/2006.
  - CURRÍCULO Lattes Eronides Silva: <<http://lattes.cnpq.br/6929312070167544>>. Acesso em 24/07/2006.
  - CURRÍCULO Lattes Israel Baumvol: <<http://lattes.cnpq.br/7503942249157750>>. Acesso em 23/07/2006.

- CURRÍCULO Lattes Maria Rita Sierakowski: <<http://lattes.cnpq.br/8401429948060012>>. Acesso em 28/12/2006.
- CURRÍCULO Lattes Nelson Duran: <<http://lattes.cnpq.br/6191239140886028>>. Acesso em 24/07/2006.
- CURRÍCULO Lattes Oscar Malta: <<http://lattes.cnpq.br/6191239140886028>>. Acesso em 23/07/2006.
- CURRÍCULO Lattes Sílvia Guterres: <<http://lattes.cnpq.br/4662273973783290>>. Acesso em 27/12/2006.
- CURVINEL, Paulo. A Embrapa, a Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio e a nanotecnologia/ Debate. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 205-213; 236-239, 2006.
- DADOS sobre as Redes do Programa Rede BrasilNano. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/ MCT, 44 p., agosto/ 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0009/9518.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0009/9518.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
- DALCOMUNI, Sônia Maria. Inter-relações fundamentais para o desenvolvimento sustentável. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 49-68, 2006.
- DEBUS, Allen G. A Longa Revolução da Química. *Ciência Hoje*, vol 13, n. 77, p. 34-43, outubro-novembro/ 1991.
- DIRETRIZES de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior. 23 p., 26/11/2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8359.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8359.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
- DREXLER, K. Eric. Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, vol. 78, n. 9, p. 5275-5278, setembro/ 1981.
- DUARTE, Edson. *Projeto de Lei 5.076/2005*. Disponível em <[www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=297210](http://www.camara.gov.br/sileg/MostrarIntegra.asp?CodTeor=297210)>. Acesso em 18/06/2007.
- DUPAS, Gilberto. *O mito do progresso*. São Paulo: Editora Unesp, 309 p., 2006.
- DURAN, Nelson. *Nanotecnologia para o meio ambiente*. São Paulo: I Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (I Seminariosoma), 2004. Disponível em <<http://nanotecnologia.incubadora.fapesp.br/portal/seminariosoma/SEMINANOSOMANELSONDURAMAPRESENTACAONanotec-inov-ambiente-200.ppt/view>>. Acesso em 03/12/2006.
- DURAN, Nelson. *Rede Nanobiotec* (Apresentação na reunião de avaliação das redes). Outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7565.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7565.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- DURAN, Nelson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 27/11/2006.
- DURAN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar de. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber Editora, 208 p., 2006.

- DURAN, Nelson. Comunicação oral no seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde/ Projeto Ghente. Rio de Janeiro: Ensp/ Fiocruz, 23/03/2007.
- EDITAL CNPq Nano nº 01/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CNPq Nano nº 01/2001. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado\\_chamada\\_01\\_2001\\_nanociencia.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado_chamada_01_2001_nanociencia.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Energ/CNPq nº 01/2003. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_012003\\_ctenerg\\_cnpq.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_012003_ctenerg_cnpq.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Energ/CNPq nº 01/2003. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq\\_ctenerg012003.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq_ctenerg012003.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-FVA/CNPq nº 01/2003. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_012003\\_ctfva\\_cnpq.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_012003_ctfva_cnpq.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-FVA/CNPq nº 01/2003. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado\\_fva\\_012003\\_fase1.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/resultado_fva_012003_fase1.htm)> (fase 1) e <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_ct-fva-03fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_ct-fva-03fase2.htm)> (fase 2). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Petro/CNPq nº 01/2003. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_ctpetro\\_2003.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_ctpetro_2003.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Petro/CNPq nº 01/2003. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq\\_ctpetro012003.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/cnpq_ctpetro012003.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 12/2004. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0122004\\_cnpq.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0122004_cnpq.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 12/2004. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_mct-cnpq122004\\_nano.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_mct-cnpq122004_nano.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 13/2004. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_cnpq\\_132004\\_nanoimpact.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_cnpq_132004_nanoimpact.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 13/2004. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_mct-cnpq132004\\_nano.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_mct-cnpq132004_nano.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Energ/MCT/CNPq nº 18/2004. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0182004\\_ctenerg.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0182004_ctenerg.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL CT-Energ/MCT/CNPq nº 18/2004. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_182004\\_ctenerg.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_182004_ctenerg.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 21/2004 – RHAЕ-Inovação. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0212004\\_rhae.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0212004_rhae.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 21/2004 – RHAЕ-Inovação. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_0212004\\_rhae.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_0212004_rhae.htm)> e <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital\\_0212004\\_rhae\\_suple.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/edital_0212004_rhae_suple.htm)> (lista adicional). Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 01/2005 – Programa Institutos do Milênio, 2005-2008. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital\\_0105\\_milenio.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/edital_0105_milenio.htm)>. Acesso em 14/01/2007.

- EDITAL MCT/CNPq nº 01/2005 – Programa Institutos do Milênio, 2005-2008. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_012005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_012005.htm)>. Acesso em 14/01/2007.
- EDITAL MCT/CNPq nº 28/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0282005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0282005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 28/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0282005\\_fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0282005_fase2.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 29/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0292005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0292005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 29/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0292005\\_fase2.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0292005_fase2.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 31/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0312005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0312005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CNPq nº 31/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0312005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0312005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CT-Biotec/CNPq nº 58/2005. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital\\_0582005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/2005/edital_0582005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL MCT/CT-Biotec/CNPq nº 58/2005. Resultado. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital\\_0582005.htm](http://www.memoria.cnpq.br/resultadosjulgamento/2005/edital_0582005.htm)>. Acesso em 11/10/2006.
- EDITAL nº 001/2006 – Processo Inmetro nº 52600.008334/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/metcientifica/incubadora/Edital001\\_06.pdf](http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/incubadora/Edital001_06.pdf)>. Acesso em 18/01/2007.
- EIGLER, Donald; SCHWEIZER, Erhard. Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature*, vol. 344, p. 524-526, 05/04/1990.
- EIGLER, Donald et al. An atomic switch realized with the scanning tunneling microscope. *Nature*, vol. 352, p. 600-603, 15/08/1991.
- EM 2007 COMEÇA a funcionar o primeiro mestrado em Nanociências aprovado pela CAPES. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/01/2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2007/lqes\\_news\\_novidades\\_897.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2007/lqes_news_novidades_897.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- EMBRAPA vai apresentar tecnologias em feira de nanotecnologia. *Embrapa – Notícias*, 05/07/2005. Disponível em <[www.embrapa.gov.br/noticias/banco\\_de\\_noticias/2005/folder.2005-06-30.8880213159/foldemoticia.2005-06-30.9185161360/noticia.2005-07-05.5502141939/mostra\\_noticia](http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2005/folder.2005-06-30.8880213159/foldemoticia.2005-06-30.9185161360/noticia.2005-07-05.5502141939/mostra_noticia)>. Acesso em 31/08/2006.
- EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária: <[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)>. Acesso em 31/08/2006.
- I ENCONTRO Instituto de Nanociências (Caderno de Resumos). Setembro/2002.
- ENJEUX Ethiques des Nanosciences et Nanotechnologies. França: Comets/ CNRS, 2006. Disponível em <[www.cnrs.fr/fr/presentation/ethique/comets/docs/ethique\\_nanos\\_061013.pdf](http://www.cnrs.fr/fr/presentation/ethique/comets/docs/ethique_nanos_061013.pdf)>. Acesso em 03/12/2006.
- EPA (AGÊNCIA de Proteção Ambiental Norte-americana) resolve "ir fundo" no estudo dos efeitos da nanotecnologia (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006. Disponível em

- <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_751.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_751.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- ERENO, Dinorah. Texturas e sabores. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 119, janeiro/ 2006. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2746&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2746&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 12/06/2007.
  - ERENO, Dinorah. Trama invisível. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 122, abril/ 2006. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2942&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2942&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 06/05/2007.
  - ESCALANTE, José Manuel Cozar. Nanotecnologias e poder: em busca de uma nanoética. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Semináriosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 259-262, 2006.
  - ESPECIALISTAS buscam elos em nanotecnologia para produção agrícola e mercado de commodities. *Embrapa – Notícias*, 01/06/2007. Disponível em <[www.ctaa.embrapa.br/noticias/noticia.php?id=completa&cod=46](http://www.ctaa.embrapa.br/noticias/noticia.php?id=completa&cod=46)>. Acesso em 06/06/2007.
  - ESTUDO Nanotecnologia. Núcleo de Assuntos Estratégicos/ Presidência da República. 2007. Disponível em <[www.nae.gov.br/estudo\\_nanotecnologia.html](http://www.nae.gov.br/estudo_nanotecnologia.html)>. Acesso em 20/06/2007.
  - EXERCISE caution when using "nano-sealing sprays" containing a propellant!. Alemanha: Federal Institute for Risk Assesment (BfR), 31/03/2006. Disponível em <[www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7699](http://www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7699)>. Acesso em 18/06/2007.
  - FAZZIO, Adalberto; SILVA, Antônio José Roque da. Na idade das nanoligas metálicas. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, vol. 39, n. 234, p. 10-11, janeiro-fevereiro/ 2007.
  - FERNANDES, Melina. Fiesp divulga propostas para política nacional de nanotecnologia. *Agência Brasil*, 07/07/2005. Disponível em <[www.radiobras.gov.br/abrn/brasilagora/materia.phtml?materia=231705](http://www.radiobras.gov.br/abrn/brasilagora/materia.phtml?materia=231705)>. Acesso em 16/11/2006.
  - FERREIRA, Luís Gomes. *Erário Mineral*. Lisboa Ocidental: Oficina de Miguel Rodrigues, 1735.
  - FEYNMAN, Richard. Há mais espaços lá embaixo (Tradução). *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/ 2002. Disponível em <[www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm](http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm)>. Acesso em 04/06/2006.
  - FIGUEIREDO, Eduardo S. *A Parceria Orbys-Unicamp*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/esf.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/esf.pdf)>. Acesso em 24/05/2007.
  - FÍSICOS brasileiros ganham destaque internacional. *Cenário XXI*, Campinas, p. 6, 29/08/2004.
  - FOLADORI, Guillermo. Nanoscience and nanotechnology in Latin America. *Nanowerk Spotlight*, 24/08/2006. Disponível em <[www.nanowerk.com/spotlight/spotid=767.php](http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=767.php)>. Acesso em 06/05/2007.
  - FREIRE, Valder. *Rede Nacional de NanoBiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados – Nanobioestruturas*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/vf.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/vf.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
  - GALEMBECK, Fernando; RIPPEL, Márcia Maria. *Nanotecnologia: estratégias institucionais e de empresas*. Campinas: 109 p., outubro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7608.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7608.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
  - GALEMBECK, Fernando. *Instituto do Milênio de Materiais Complexos* (Apresentação no Workshop de Nanotecnologia e Nanociência Brasil/União Européia). São Paulo:

- dezembro/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7600.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7600.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
- GALEMBECK, Fernando. *Laboratório, protótipo e mercado: os caminhos da nanotecnologia*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
  - GALEMBECK, Fernando. *Uma visão de pesquisador*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/fg1.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg1.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
  - GALEMBECK, Fernando. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.
  - GALLINDO, Fabiano (Assessor da Diretoria de Tecnologia da Faperj). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 01/08/2006.
  - GALVÃO, Fabiana. Nordeste terá laboratório de referência em nanotecnologia. *Agência CT*, 20/07/2006. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/40530.html>>. Acesso em 26/01/2007.
  - GALVÃO, Fabiana. Cetene investe R\$ 3,98 mi em laboratório multiusuário de nanotecnologia. *Agência CT*, 23/01/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/42934.html>>. Acesso em 25/01/2007.
  - GALVÃO, Fabiana. Cetene terá laboratório de microscopia eletrônica com equipamento inédito no país. *Agência CT*, 12/03/2007. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/43465.html>>. Acesso em 13/06/2007.
  - GELDART, Alison; JONES, Richard; WOOD, Stephen. *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology*. Reino Unido: Economic & Social Research Council, 63 p., 2003. Disponível em <[www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology\\_tcm6-5506.pdf](http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology_tcm6-5506.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
  - GELDART, Alison; JONES, Richard; WOOD, Stephen. *Nanotechnology: from the science to the social - The social, ethical and economic aspects of the debate*. Reino Unido: Economic & Social Research Council, 51 p., 2007. Disponível em <[www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology\\_tcm6-5506.pdf](http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology_tcm6-5506.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
  - GOMES, Anderson S. L. et al. *Programa Nacional de P&D em Nanociências e Nanotecnologias/ Plano de Implementação 2001-2005/ Documento Preliminar para Discussão*. Brasília: CNPq, 44 p., abril/2001. Disponível em <[www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc](http://www.memoria.cnpq.br/noticias/nano.doc)>. Acesso em 11/10/2006.
  - GOMES, Anderson S. L.; MELO, Celso P. de. A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia. Brasília: CNPq, novembro/2002. IN: *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 105-135, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 14/08/2006.
  - GOMES, Anderson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 03/11/2006, e por e-mail, em 03/11/2006 e 31/01/2007.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon; MELO, Lúcia Carvalho Pinto de. (coordenadores) *Ciência, tecnologia e inovação: desafio para a sociedade brasileira – Livro Verde*.

- Brasília: MCT/Academia Brasileira de Ciências, 279 p., julho/2001. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/18811.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/18811.html)>. Acesso em 11/10/2006.
- GONÇALVES DA SILVA, Cylon. *O Programa Nacional de Nanotecnologia e o Centro Nacional de Referência em Nanotecnologia*. 9 p., 24/03/2003. Disponível em <[www.lnls.br/info/programanano\\_a.pdf](http://www.lnls.br/info/programanano_a.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon. Nanotecnologia: o desafio nacional. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 5-8, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon. (coordenador) *Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia: Relatório Final*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 128 p., 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/2181.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/2181.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon et al. *Relatório Final do Grupo de Trabalho Laboratório Nacional de Micro e Nanotecnologias*. 17 p., 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7328.doc](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7328.doc)>. Acesso em 01/09/2006.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon. IN: OLIVEIRA, Marcos de. Físico, político, executivo. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 129, novembro/ 2006. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3104&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3104&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 17/03/2007.
  - GONÇALVES DA SILVA, Cylon. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 06/03/2007.
  - GOUVEIA, Flavia. Mercado contribui para má compreensão da nanotecnologia. *Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo (Labjor), MídiaCiência - Notícias*, 11/12/2006. Disponível em <[www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/noticias.php3?id\\_article=382](http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/noticias.php3?id_article=382)>. Acesso em 10/04/2007.
  - GUSMÃO, José Roberto d'Affonseca. *Nanotecnologia e Patentes*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/jrg.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/jrg.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
  - HERBST, Marcelo Hawrylak. Menores que míni, menores que micro, eles são NANO!. *Ciência Hoje das Crianças*, n. 140, outubro/ 2003. Disponível em <<http://cienciahoje.uol.com.br/view/1937>>. Acesso em 14/07/2007.
  - HUFFMAN, D.; KRATSCHEMER, W.; et al. Solid C<sub>60</sub>: a new form of carbon. *Nature*, vol. 347, p. 354-358, 27/09/1990.
  - IJIMA, Sumio. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, vol. 354, p. 56-58, 07/11/1991.
  - INCREMENTHA lança primeiro fármaco brasileiro desenvolvido com nanotecnologia. *Trama Comunicação, Press Release*, 25/04/2007. Disponível em <[www.tramaweb.com.br/cliente\\_ver.asp?Cod\\_cli=75&Cod\\_Not=4029](http://www.tramaweb.com.br/cliente_ver.asp?Cod_cli=75&Cod_Not=4029)>. Acesso em 07/05/2007.
  - INDÚSTRIAS Químicas Taubaté. Taubarez T 940. Disponível em <[www.iqt.com.br/prod\\_detalhes.php?id=50](http://www.iqt.com.br/prod_detalhes.php?id=50)>. Acesso em 10/04/2007.
  - INSTITUTO de Tecnologia de Dublin avalia a toxicidade das nanopartículas sobre as células humanas (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_858.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_858.html)>. Acesso em 06/05/2007.

- INSTITUTO do Milênio de Materiais Complexos (IMMC) / LQES: <[http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/projetos\\_pesquisas/projetos\\_pesquisa\\_milenio.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/projetos_pesquisas/projetos_pesquisa_milenio.html)>. Acesso em 14/01/2007.
- INSTITUTO do Milênio de Materiais Complexos (IM<sup>2</sup>C) / USP: <[www2.iq.usp.br/im2c](http://www2.iq.usp.br/im2c)>. Acesso em 10/06/2007.
- INSTITUTO Multidisciplinar de Materiais Poliméricos (IMMP) / USP – São Carlos: <[www.if.sc.usp.br/~immp](http://www.if.sc.usp.br/~immp)>. Acesso em 10/06/2007.
- INSTITUTO Nacional de Propriedade Industrial (INPI): <[www.inpi.gov.br](http://www.inpi.gov.br)>. Acesso em 14/03/2007.
- INSTITUTO Virtual de Nanociência e Nanotecnologia: <<http://inn.vdg.fis.puc-rio.br>>. Acesso em 20/06/2007.
- INSTITUTOS do Milênio (Apresentação, Documento Básico, Projetos Aprovados): <[www.cnpq.br/programasespeciais/milenio](http://www.cnpq.br/programasespeciais/milenio)>. Acesso em 11/10/2006.
- INVERNIZZI, Noela; FOLADORI, Guillermo. As nanotecnologias como solução da pobreza?. *Inclusão Social*, Brasília, vol. 1, n. 2, p. 66-72, abril-setembro/ 2006. Disponível em <[www.ibict.br/revistainclusaosocial/include/getdoc.php?id=154&article=17&mode=pdf](http://www.ibict.br/revistainclusaosocial/include/getdoc.php?id=154&article=17&mode=pdf)>. Acesso em 07/05/2007.
- IVANISSEVICH, Alicia. Muito além do futebol. *Ciência Hoje*, vol. 36, n. 211, p. 68-71, dezembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/html/template/frameSet.php?urlFrame=http://www.eticacyt.gov.ar/AAPC\\_SBPC.pdf&objMct=Artigos%20sobre%20o%20CBAN](http://www.mct.gov.br/html/template/frameSet.php?urlFrame=http://www.eticacyt.gov.ar/AAPC_SBPC.pdf&objMct=Artigos%20sobre%20o%20CBAN)>. Acesso em 12/06/2007.
- JUSTE, Marília. Brasileiros criam anestésico nanotecnológico. *G1*, São Paulo, Ciência e Saúde, 26/04/2007. Disponível em <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL27012-5603-2723,00.html>>. Acesso em 07/05/2007.
- KAHN, Jennifer. Microrrevolução. *National Geographic Brasil*, São Paulo, n. 75, p. 86-107, junho/ 2006.
- KNOBEL, Marcelo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.
- KOILLER, Belita. IN: WOLFFENBUTELL, Andréa. Ciência, substantivo feminino. *Desafios do Desenvolvimento* (revista do IPEA/PNUD), Brasília, n. 27, p. 10-14, outubro/ 2006.
- KOILLER, Belita. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, presencialmente, em 06/11/2006.
- KROTO, H. W.; HEATH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene. *Nature*, vol. 318, p. 162-163, 14/11/1985.
- KROTO, H. W. Carbon onions introduce new flavour to fullerene studies. *Nature*, vol. 359, p. 670-671, 22/10/1992.
- LABORATÓRIO Nacional de Luz Síncrotron: <[www.lnls.br](http://www.lnls.br)>. Acesso em 31/01/2007.
- LACAVA, Zulmira Guerrero Marques; MORAIS, Paulo Cesar de. Aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 73-86, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.

- LEVANTAMENTO da Nanotecnologia na Unicamp. Campinas: Pró-Reitoria de Pesquisa, 151 p., abril/ 2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8418.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8418.pdf)>. Acesso em 07/07/2007.
- LONGO, Elson. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 30/11/2006.
- LULA DA SILVA, Luiz Inácio. DISCURSO do presidente da República na cerimônia de lançamento do Programa Nacional Nanotecnologia. Campinas: 19/08/2005. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/14842.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14842.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- MACHADO, Antonio Eduardo da Hora. *Viabilização da empresa Nanobrax, Soluções Tecnológicas - Relatório Técnico Referente ao Edital CT-Biotecnologia/MCT/CNPq 058/05*. Uberlândia: 17 p., novembro/2006. Documento remetido por Machado, via e-mail, à autora desta dissertação, em 05/12/2006.
- MACOUBRIE, Jane. Nanotechnology: public concerns, reasoning and trust in government. *Public Understanding of Science*, vol. 15, n. 2, p. 221-241, 2006. Disponível em <<http://pus.sagepub.com/cgi/content/abstract/15/2/221>>. Acesso em 06/05/2007.
- MALTA, Oscar. Nanociência e nanotecnologia: a rede de nanotecnologia molecular e de interfaces (RENAMI). *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/ 2002. Disponível em <<http://comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano12.htm>>. Acesso em 17/03/2005.
- MALTA, Oscar. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 28/11/2006.
- MARTINELLI, Paulo. Profeta irreverente anuncia a era nano. *Cenário XXI*, Campinas, p. 3, 29/08/2004.
- MARTINELLI, Paulo. Ultra-rápidos, promissores e minúsculos nanocristais. *Cenário XXI*, Campinas, p. 7, 29/08/2004.
- MARTIN NETO, Ladislau; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. Nanotecnologia: Nova Revolução Científica. *Embrapa – Notícias*, 14/07/2005. Disponível em <[www.embrapa.br/noticias/artigos/folder.2005-02-02.1550581232/artigo.Nanotecnologia/mostra\\_artigo](http://www.embrapa.br/noticias/artigos/folder.2005-02-02.1550581232/artigo.Nanotecnologia/mostra_artigo)>. Acesso em 31/08/2006.
- MARTIN NETO, Ladislau. *Aspectos da nanotecnologia e suas potencialidades no agronegócio* (Apresentação). São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 17/04/2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/4227.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/4227.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
- MARTINS, Jader Benuzzi. *A história do átomo – de Demócrito aos quarks*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 333 p., 2001.
- MARTINS, Paulo Roberto. Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. *Bate-papo Programado/ IPT*, 22/02/2006. Disponível em <[www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=206](http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=206)>. Acesso em 22/08/2006.
- MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Semináriosoma)*. São Paulo: Xamã, 344 p., 2006.
- MARTINS, Paulo. Comunicação oral no seminário Novas Tecnologias da Genética Humana: Avanços e Impactos para Saúde/ Projeto Ghente. Rio de Janeiro: Ensp/Fiocruz, 23/03/2007.
- MASSAMBANI, Oswaldo. *A produção de conhecimento e a inovação em*

- nanotecnologias na USP*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/om.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/om.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- MAYNARD, Andrew D. et al. Safe handling of nanotechnology. *Nature*, vol. 444, p. 267-269, 16/11/2006.
  - MEDIDAS de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). 11 p., 31/03/2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8360.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8360.pdf)>. Acesso em 10/10/2006.
  - MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 9-22, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
  - MELO, Celso Pinto de. *Nanotecnologia: Arranjos Institucionais em Países Selecionados da Ásia e Oceania* (Apresentação). São Paulo: setembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/7690.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/7690.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
  - MENDES, Alfredo de Souza. *Relatório sobre a Missão Exploratória ao Japão – Área de Nanotecnologia*. Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/ MCT. 19 p., maio/ 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7715.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7715.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
  - MENDES, Alfredo de Souza. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 29/12/2006.
  - MINISTRO faz palestra na abertura do Brazil Day. *Agência CT*, 22/05/2006. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/34501.html>>. Acesso em 15/06/2007.
  - MIRANDA, Roberto. Efectos de tamaño cuántico y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras. *Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología/ Tribuna de debate*, n. 35, março-abril/ 2006. Disponível em <[www.madrimasd.org/revista/revista35/tribuna/tribuna1.asp](http://www.madrimasd.org/revista/revista35/tribuna/tribuna1.asp)>. Acesso em 19/06/2007.
  - MIRRA, Evando. Editorial. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 17, n. 7, novembro-dezembro/ 2006. Disponível em <[www.scielo.br/pdf/jbchs/v17n7/00.pdf](http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v17n7/00.pdf)>. Acesso em 07/05/2007.
  - MIRRA, Evando. Entrevista exclusiva a Oswaldo Luiz Alves. *LQES Pontos de Vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas20-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas20-1.html)>. Acesso em 07/05/2007.
  - MISSÃO brasileira a Israel debate setores com potencial de intercâmbio. *MDIC – Notícias*, 26/07/2005. Disponível em <[www.mdic.gov.br/sitio/ascom/noticias/noticia.php?cd\\_noticia=6569](http://www.mdic.gov.br/sitio/ascom/noticias/noticia.php?cd_noticia=6569)>. Acesso em 18/01/2007.
  - MOONEY, Pat Roy. Nanotecnologia, desestruturação produtiva e poder: um alerta para os cientistas sociais. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 165-173, 2006.
  - MOORE, Julia A. Small science, big challenge. *Nature*, vol. 442, p. 747, 17/08/2006.
  - MORAIS, Paulo. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/03/2007.

- MOREIRA, Eliane Cristina P. Debate/ Nanotecnologia e regulação: as inter-relações entre o Direito e as ciências. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 183-184; 309-313, 2006.
- MÜLLER, Erwin. Atoms Visualized. *Scientific American*, vol. 196, p. 113-122, junho/ 1957.
- MURIELLO, Sandra. O que os italianos pensam da nanotecnologia?. *Ciência e Cultura*, vol. 59, n. 1, p. 18-19, janeiro-março/ 2007. Disponível em <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n1/a10v59n1.pdf>>. Acesso em 16/04/2007.
- NANO PARTICLES were not the cause of health problems triggered by sealing sprays!. Alemanha: Federal Institute for Risk Assessment (BfR), 26/05/2006. Disponível em <[www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7842](http://www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7842)>. Acesso em 18/06/2007.
- NANOCARE: saúde e meio ambiente sob vigilância (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_741.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_741.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- NANOCIÊNCIA & Nanotecnologia. *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/ 2002. Disponível em <[www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano01.htm](http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano01.htm)>. Acesso em 17/03/2005.
- NANOCIÊNCIA e Nanotecnologia: Modelando o futuro átomo por átomo. Rio de Janeiro: CBPF / MCT.
- "NANOERA" vai mudar paradigmas em várias áreas do conhecimento. *Agência CT*, 30/10/2005. Disponível em <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/30646.html?toPrint=yes>>. Acesso em 07/05/2007.
- NANOPARTÍCULAS agem contra o câncer. *O Estado de São Paulo*, Vida&, p. A15, 11/04/2006.
- NANOPARTÍCULAS e filmes poliméricos permitem captar água como fazem os escaravinhos no deserto da Namíbia (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 01/12/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_877.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_877.html)>. Acesso em 19/06/2007.
- NANOSONDA para ambiente de microgravidade: nanotecnologia no espaço. Missão Centenário/ Agência Espacial Brasileira (AEB). Disponível em <[www.aeb.gov.br/missaoacentenario/Experimentos5.php](http://www.aeb.gov.br/missaoacentenario/Experimentos5.php)>. Acesso em 26/12/2006.
- NANOTECHNOLOGY N. *Nature Nanotechnology*: vol. 1, n. 1, p. 8-10, outubro/ 2006.
- NANOTECHNOLOGIA está no dia-a-dia da indústria, dizem promotores; palestrantes incluem dono da Lux Research e da CDT, de OLEDs. *Inovação Unicamp*, ed. 65, 02/10/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec2006.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec2006.shtml)>. Acesso em 12/04/2007.
- NANOTECHNOLOGIA rende patentes brasileiras. *A Semana C&T*, SBPC, ed. 3, p. 10, outubro/ 2006.
- NANOX: <[www.nanox.com.br/empresa/](http://www.nanox.com.br/empresa/)>. Acesso em 06/05/2007.
- NATIONAL Nanotechnology Initiative, History: <[www.nano.gov/html/about/history.html](http://www.nano.gov/html/about/history.html)>. Acesso em 05/02/2007.
- NICOLSKY, Roberto. Destravando o crescimento. *Folha de S. Paulo*, Opinião, p. A3,

- 01/03/2007. Disponível em <[www.protec.org.br/artigos.asp?cod=60](http://www.protec.org.br/artigos.asp?cod=60)>. Acesso em 07/05/2007.
- O BOTICÁRIO. Vitactive nanoserum anti-sinais 20ml. Disponível em <<http://internet.boticario.com.br/portal/site/produtos/menuitem.035f3305bdd396dd15c55f8d3a108a0c/?home=nao&idCanal=95619ec0eb1d3010VgnVCM100000a201a8c0RCRD&secao=produtos&subsecao=mulheres&idProduto=aa8cdda26ba8b010VgnVCM1000002b04650aRCRD>>. Acesso em 12/04/2007.
  - O INMETRO e a Nanotecnologia. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 06/07/2005. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/nanotecnologia.asp](http://www.inmetro.gov.br/noticias/nanotecnologia.asp)>. Acesso em 18/01/2007.
  - O PROGRAMA do PPA 2004-2007: <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/27136.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27136.html)>. Acesso em 01/09/2006.
  - O'DRISCOLL, Cath. Designs on C<sub>60</sub>. *Chembytes E-zine*. 1996. Disponível em <[www.chemsoc.org/chembytes/ezine/1996/kroto.htm](http://www.chemsoc.org/chembytes/ezine/1996/kroto.htm)>. Acesso em 03/11/2005.
  - OLIVEIRA, Flávia. Nanotecnologia pode ter crédito do BNDES. *O Globo*, Rio de Janeiro, Economia/Negócios & cia, p. 33, 05/05/2007.
  - OLIVEIRA, Marcos de. Nanotubos no mercado – Diminutas peças de carbono já estão à venda para universidades e empresas. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 118, dezembro/ 2005. Disponível em <[www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2770&bd=1&pg=1&lg=>](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2770&bd=1&pg=1&lg=>)>. Acesso em 09/06/2007.
  - OLIVEIRA JR, Osvaldo N.; FARIA, Roberto M. Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos. *Polímeros*, vol. 12, n. 1, p. E4-E7, 2002. Disponível em <[www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9873.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9873.pdf)>. Acesso em 10/06/2007.
  - OLIVEIRA JR, Osvaldo N. *Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos* (Apresentação no Workshop de Nanotecnologia e Nanociência Brasil/União Européia). São Paulo: dezembro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7601.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7601.pdf)>. Acesso em 13/01/2007.
  - ONE small step. *Nature*, vol. 443, p. 482, 05/10/2006.
  - PARKS, Noreen. New Nano-headache?. *ScienceNOW Daily News*, 15/06/2006. Disponível em <<http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2006/615/1>>. Acesso em 07/05/2007.
  - PERCEPÇÃO Pública da Ciência e Tecnologia. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 69 p., 2007. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/13511.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/13511.pdf)>. Acesso em 23/05/2007.
  - PESQUISADOR da UFPE criou empresa para aproveitar potencial do trabalho acadêmico; até hoje, nunca captou recursos privados. *Inovação Unicamp*, n. 38, 25/08/2005. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-pontoquantico.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-pontoquantico.shtml)>. Acesso em 23/12/2006.
  - PESQUISADORA brasileira ganha Prêmio nos Estados Unidos. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 17/07/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_803.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_803.html)>. Acesso em 06/05/2007.
  - PETERSON, Chris. Nanotechnology: >From Concept to R&D Goal. Foresight Institute, 1995. Disponível em <[www.foresight.org/Hotwired.all.files/index.html](http://www.foresight.org/Hotwired.all.files/index.html)>. Acesso em 02/06/2006.
  - PETERSON, Chris. Nanotechnology: from Feynman to the Grand Challenge of Molecular Manufacturing. Foresight Institute, 2004. Disponível em <[www.patmedia.net/tbookman/techsoc/Peterson.htm](http://www.patmedia.net/tbookman/techsoc/Peterson.htm)>. Acesso em 02/06/2006.

- PINTO, Valéria (Funcionária da Fundacentro). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 23/05/2007.
- PIRES, Letícia. A indústria do átomo. *Amanhã*, ed. 218, março/ 2006. Disponível em <<http://amanha.terra.com.br/edicoes/218/capa01.asp>>. Acesso em 06/05/2007.
- PITCE 2 anos. Brasília: ABDI, 50 p., 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8052.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8052.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- PITCHER, Michael W. There's Still Plenty of Room at the Bottom. *Nature*, vol.313, p. 300, 21/07/2006.
- PORTARIA MCT nº 192, de 07/04/2005. Diário Oficial da União de 08/04/2005, Seção II, p. 3. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/11766.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/11766.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 252, de 16/05/2003. Diário Oficial da União de 19/05/2003, Seção II, p. 6. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/13574.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/13574.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 346, de 16/07/2004. Diário Oficial da União de 20/07/2004, Seção II, p. 4. Disponível em <[http://ftp.mct.gov.br/legis/portarias/346\\_2004.htm](http://ftp.mct.gov.br/legis/portarias/346_2004.htm)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 481, de 15/07/2005. Diário Oficial da União de 19/07/2005, Seção I, p. 10. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/11492.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/11492.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 614, de 01/12/2004. Diário Oficial da União de 08/12/2004, Seção I, p. 10. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/11847.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/11847.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PORTARIA MCT nº 780, de 11/10/2006. Diário Oficial da União de 16/10/2006, Seção II, p. 2. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/40199.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/40199.html)>. Acesso em 17/06/2007.
- PORTARIA MCT nº 781, de 11/10/2006. Diário Oficial da União de 16/10/2006, Seção II, p. 2. Disponível em <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/40200.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/40200.html)>. Acesso em 17/06/2007.
- PRIOLI, Rodrigo. *Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/rp.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/rp.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- PROGRAMA 0461 Expansão e Consolidação do Conhecimento Científico e Tecnológico/ Secretaria de Orçamento Federal/ Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão: <<http://sidornet.planejamento.gov.br/docs/cadacao/cadacao2003/downloads/0461.pdf>>. Acesso em 28/05/2007.
- PROGRAMA Nacional de Nanotecnologia: <[www.mct.gov.br/index.php/content/view/27137.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27137.html)>. Acesso em 01/09/2006.
- PROGRAMA Nacional de Nanotecnologia na Capes: <[www.capes.gov.br/export/sites/capes/download/bolsas/Historico\\_Nanotecnologia.pdf](http://www.capes.gov.br/export/sites/capes/download/bolsas/Historico_Nanotecnologia.pdf)>. Acesso em 22/09/2006.
- PROGRAMAS Típicos do MCT, Programas Multissetoriais e Programas Padronizados, Plano Plurianual – PPA 2004-2007. Assessoria de Acompanhamento e Avaliação/ MCT, 03/10/2003. Disponível em <<http://ftp.mct.gov.br/sobre/ppa/PPA20042007.pdf>>. Acesso em 16/05/2007.
- PROJECT On Emerging Nanotechnologies: Inventory of Nanotechnology Consumer Products: <[www.nanotechproject.org/44](http://www.nanotechproject.org/44)>. Acesso em 06/05/2007.
- PROJETO Engajamento Público em Nanotecnologia. *Jornal da Ciência e-mail*, n. 3244,

- 16/04/2007. Disponível em <[www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=46158](http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=46158)>. Acesso em 23/05/2007.
- QUEM é Belita Koiller, brasileira vencedora do Prêmio L'Oréal-Unesco For Women in Science 2005. *L'Oréal Brasil – Notícias*, 04/03/2005. Disponível em <[www.loreal.com.br/\\_pt/\\_br/news/full\\_article.aspx?NewsID=ad6c5bb2-f15a-4e6b-8e7a-985d017aebd1&r=1&sr=1](http://www.loreal.com.br/_pt/_br/news/full_article.aspx?NewsID=ad6c5bb2-f15a-4e6b-8e7a-985d017aebd1&r=1&sr=1)>. Acesso em 06/05/2007.
  - QUÍMICA e a nanociência. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 30/08/2006. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=2206](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=2206)>. Acesso em 18/01/2007.
  - RANKING dos países que participam da corrida das nanotecnologias (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 18/12/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_888.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_888.html)>. Acesso em 19/06/2007.
  - RATTNER, Henrique. A nanotecnologia e a política de ciência e tecnologia. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Semináriosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 174-181, 2006.
  - REDE de Nanotecnologia da USP: <[www.usp.br/prp/nanotecnologia](http://www.usp.br/prp/nanotecnologia)>. Acesso em 23/12/2006.
  - REDE de Pesquisa Materiais Nano-estruturados: <[www.if.ufrgs.br/~israel](http://www.if.ufrgs.br/~israel)>. Acesso em 20/02/2006.
  - REDE Nacional de Pesquisas em Nanotubos de Carbono realiza o seu Workshop 2006. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 01/12/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_no\\_vidades\\_872.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_no_vidades_872.html)>. Acesso em 01/12/2006.
  - REDE Nacional de Pesquisa Nanotubos: <[www.fisica.ufc.br/redenano](http://www.fisica.ufc.br/redenano)>. Acesso em 20/02/2006.
  - REGIS, Ed. *Nano - A ciência emergente da nanotecnologia: refazendo o mundo - molécula por molécula* (Tradução). Rio de Janeiro: Rocco, 304 p., 1997.
  - REGUEIRO, Manuel Nuñez. Fullerenos: a nova fronteira do carbono. *Ciência Hoje*, vol. 15, n. 87, p. 15-24, janeiro-fevereiro/ 1993.
  - RELATÓRIO Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas. Brasília: Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/ MCT, 68 p., junho/ 2006. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8075.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf)>. Acesso em 31/08/2006.
  - RELATÓRIO referente à gestão do programa “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia” no exercício de 2005. Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias/MCT. 9 p. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2705.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2705.pdf)>. Acesso em 18/07/2006.
  - RELATÓRIO sobre a missão exploratória à Suíça na área de nanotecnologia visando identificação de projetos de cooperação bilateral para o setor. Coordenação Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia/ MCT. 10 p., 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7327.doc](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7327.doc)>. Acesso em 03/01/2006.
  - RENAMI - Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces: <[www.renami.com.br](http://www.renami.com.br)>. Acesso em 20/02/2006.
  - REUNIÃO de Trabalho Tendências em Nanociências e Nanotecnologias. CNPq, Notícias, 04/04/2001.

- Disponível em <[http://memoria.cnpq.br/noticias/noticia05\\_040401.htm](http://memoria.cnpq.br/noticias/noticia05_040401.htm)>. Acesso em 19/07/2006.
- REY, Luis. *Dicionário de Termos Técnicos de Medicina e Saúde*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 950 p., 2003.
  - REZENDE, Sergio. IN: Ciência brasileira. *Inmetro – Notícias e Eventos*, 06/10/2005. Disponível em <[www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq\\_noticia=1727](http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=1727)>. Acesso em 18/01/2007.
  - RIBEIRO, Sílvia. O impacto das tecnologias em escala nano na agricultura e nos alimentos. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 197-204, 2006.
  - RICE scientists build world's first single-molecule car. *Rice University*, 20/10/2005. Disponível em <[www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=7850](http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=7850)>. Acesso em 02/06/2006.
  - ROCHA-FILHO, Romeu C. Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 7-11, novembro/ 1996.
  - ROMERO, Thiago. "Ciência do Nano" em DVD. *Agência Fapesp*, 26/04/2006.
  - SÁ, Gilberto Fernandes de et al. *Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia (Documentobase/ PPA 2004-2007)*. 28 p., 2003. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2361.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf)>. Acesso em 18/07/2006.
  - SALAMANCA-BUENTELLO F. et al. Nanotechnology and the Developing World. *PLoS Medicine*, vol. 2, issue 4, p. 0300-0303, abril/2005.
  - SALTINI, Marco. *Nanotecnologia e Indústria Automobilística - Anfavea*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/ms.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/ms.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
  - SANTA-CRUZ, Petrus. Debate. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 233-234; 285-288, 2006.
  - SANTA-CRUZ, Petrus. *Nanotecnologia como fator estratégico de inovação competitiva no setor químico - Universidade Federal de Pernambuco, Ponto Quântico Nanodispositivos e Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/psc1.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/psc1.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
  - SANTA-CRUZ, Petrus. *Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces – Renami/ Estágio III*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/psc2.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/psc2.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
  - SANTA-CRUZ, Petrus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 06/03/2007.
  - SANTANNA, Antonio Cláudio. *Como Selecionar os Investimentos em Projetos de P&D Nanotecnológicos - Petrobras*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/acs.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/acs.pdf)>. Acesso em 27/11/2006.
  - SANT'ANNA, J. P.; AZEVEDO, M. Petroquímicas divulgam aporte em nanotecnologia. *Plástico Moderno*, ed. 386, dezembro/ 2006. Disponível em <[www.plastico.com.br/revista/pm386/noticias2.html](http://www.plastico.com.br/revista/pm386/noticias2.html)>. Acesso em 06/05/2007.

- SANTISTA Têxtil entra na era da nanotecnologia. *Santista Têxtil – Notícias*, 08/11/2006. Disponível em <[www.santistatextil.com.br/site/content/institucional/noticias\\_texto.asp?campo=1352&noticia\\_mes=11&noticia\\_ano=2006&secao\\_id=657&home=sim](http://www.santistatextil.com.br/site/content/institucional/noticias_texto.asp?campo=1352&noticia_mes=11&noticia_ano=2006&secao_id=657&home=sim)>. Acesso em 10/04/2007.
- SERVICE, Robert F. U.S. Nanotechnology - Health and Safety Research Slated for Sizable Gains. *Science*, vol. 315, p. 926, 16/02/2007.
- SILVA, André César da. Nanotecnologia: uma iniciativa recomendada para a Aeronáutica. *Air & Space Power Journal em Português*, 1<sup>o</sup> semestre/ 2004. Disponível em <[www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2004/1tri04/silva.html](http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2004/1tri04/silva.html)>. Acesso em 31/08/2006.
- SILVA, Eronides. Rede cooperativa para pesquisa em nanodispositivos semicondutores e materiais nanoestruturados (NanoSemiMat). *ComCiência*, Reportagens, n. 37, novembro/ 2002. Disponível em <<http://comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano13.htm>>. Acesso em 17/03/2005.
- SILVA, Eronides. *Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (NanoSemiMat) – Relatório Técnico Final*. 132 p., novembro/ 2005. Documento enviado por Silva à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/11/2006.
- SILVA, Eronides. Debate. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 343-344, 2006.
- SILVA, Eronides. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 31/10/2006, e por telefone, em 28/11/2006.
- SIMÕES, Janaína. Embrapa Instrumentação Agropecuária, de São Carlos, cria laboratório de nanotecnologia e sedia rede virtual de pesquisa. *Inovação Unicamp*, ed. 54, 02/05/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-embrapa060502.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-embrapa060502.shtml)>. Acesso em 31/08/2006.
- SIMÕES, Janaína. Nanotecnologia I: Feira reúne 38 expositores que levaram 100 projetos ou produtos; no Congresso Internacional, estrela foi pesquisador da Unicamp. *Inovação Unicamp*, ed. 67, 13/11/2006. Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec061113.shtml](http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-nanotec061113.shtml)>. Acesso em 16/11/2006.
- SPARROW, Rob. *Widespread hypocrisy about nanotechnology is a worrying sign*. Austrália: Friends of the Earth, 8 p., 2007. Disponível em <<http://nano.foe.org.au/filestore2/download/191/Worrying%20hypocrisy%20about%20nanotechnology%20Sparrow%202007.pdf>>. Acesso em 28/03/2007.
- STEPHENS, Lowndes F. News Narratives about Nano S&T in Major U.S. and Non-U.S. Newspapers. *Science Communication*, vol. 27, n. 2, p. 175-199, 2005.
- STONE, Vicki; DONALDSON, Ken. Nanotoxicology - Signs of stress. *Nature Nanotechnology*, vol. 1, p. 23-24, outubro/ 2006.
- SUCHMAN, Mark C. *Social Science and Nanotechnology*. Estados Unidos: University of Wisconsin-Madison, 6 p., 2003. Disponível em <[www.ssc.wisc.edu/~suchman/publications/EUnano.pdf](http://www.ssc.wisc.edu/~suchman/publications/EUnano.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- SUGGAR lança lavadoras com nanotecnologia. *Jornal da Ciência e-mail*, n. 3278, 05/06/2007. Disponível em <[www.jornaldaciencia.org.br/Detailhe.jsp?id=47604](http://www.jornaldaciencia.org.br/Detailhe.jsp?id=47604)>. Acesso em 06/06/2007.

- SUZANO PETROQUÍMICA apresenta produtos inéditos feitos com nanotecnologia. *Suzano Petroquímica*, 07/11/2006. Disponível em <[www.polodecamacari.com.br/navitacontent\\_/dbfiles/E6AE9267-E56D-E8E9-92FF74234F94A9D3.arquivo.pdf?04A063E0-E5AF-3D80-F157A2A7403F681F](http://www.polodecamacari.com.br/navitacontent_/dbfiles/E6AE9267-E56D-E8E9-92FF74234F94A9D3.arquivo.pdf?04A063E0-E5AF-3D80-F157A2A7403F681F)>. Acesso em 06/05/2007.
- SWART, Jacobus. *Instituto do Milênio – Namitec*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/jws.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/jws.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- SWART, Jacobus. *Relatório Namitec*. 9 p., novembro/ 2006. Disponível em <[www.ccs.unicamp.br/namitec/relatorios/Relatorio\\_NAMITEC\\_Nov2006.pdf](http://www.ccs.unicamp.br/namitec/relatorios/Relatorio_NAMITEC_Nov2006.pdf)>. Acesso em 14/01/2007.
- SWART, Jacobus. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 06/03/2007.
- SWART, Jacobus. Entrevista exclusiva a Oswaldo Luiz Alves. *LQES Pontos de vista* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/04/2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_entrevistas27-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas27-1.html)>. Acesso em 17/04/2007.
- TAIFF Titanium. Disponível em <[www.taiff.com.br/index.php?module=ContentExpress&func=print&ceid=81](http://www.taiff.com.br/index.php?module=ContentExpress&func=print&ceid=81)>. Acesso em 10/04/2007.
- TECNOLOGIAS de Micro e Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes (Namitec) / Unicamp: <[www.ccs.unicamp.br/namitec](http://www.ccs.unicamp.br/namitec)>. Acesso em 15/01/2007.
- TESTES in vivo com nanotubos de carbono: primeiros resultados são encorajadores (Tradução). *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/01/2007. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2007/lqes\\_news\\_novidades\\_896.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2007/lqes_news_novidades_896.html)>. Acesso em 17/01/2007.
- THAYER, Ann M. Nanotech Consumer Product Recalled in Germany. *Chemical & Engineering*, 07/04/2006. Disponível em <<http://pubs.acs.org/cen/news/84/i15/8415nanotech.html>>. Acesso em 02/06/2006.
- THE NOBEL Prize in Chemistry 1996 “for their discovery of fullerenes”. Nobel Foundation. Disponível em <[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1996](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996)>. Acesso em 28/05/2007.
- TOMA, Henrique E. Ética e humanismo em nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* (revista do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), Brasília, n. 18, p. 87-98, agosto/ 2004. Disponível em <[www.cgee.org.br/parcerias/p18.php](http://www.cgee.org.br/parcerias/p18.php)>. Acesso em 19/07/2006.
- TOMA, Henrique E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina de Textos, 105 p., 2004.
- TOMA, Henrique E. Interfaces e organização da pesquisa no Brasil: da química à nanotecnologia. *Química Nova*, vol. 28, suplemento, p. S48-S51, 2005.
- TOMA, Henrique E. Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por telefone, em 25/10/2006, e por e-mail, em 12/03/2007.
- TOMELLINI, Renzo. Nanotecnologia: um ponto de vista da Europa. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Semináriosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 42-48, 2006.

- TOSCANO, Frederico (Funcionário da Facepe). Comunicação pessoal à autora desta dissertação, por e-mail, em 02/08/2006.
- TRABALHO de pesquisadores brasileiros envolvendo fungos e nanopartículas recebe o status de "Highly Accessed" no periódico Journal of Nanobiotechnology. *LQES NEWS* (informativo do Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp), 16/02/2006. Disponível em <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2006/lqes\\_news\\_novidades\\_730.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_730.html)>. Acesso em 06/05/2007.
- TREDINNICK, Marcelo. *Uma questão crítica: Depósitos das patentes de nanotecnologia no Brasil*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/mt.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mt.pdf)>. Acesso em 28/03/2007.
- UGARTE, Daniel. Curling and closure of graphitic networks under electron-beam irradiation. *Nature*, vol. 359, p. 707-709, 22/10/1992.
- UGARTE, Daniel. *Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados* (Apresentação na reunião de avaliação das redes). Outubro/ 2004. Disponível em <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0007/7556.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7556.pdf)>. Acesso em 05/06/2007.
- UNITED States Patent and Trademark Office (USPTO): <[www.uspto.gov](http://www.uspto.gov)>. Acesso em 14/03/2007.
- VALENTE, Leonardo. Brasil tem 120 patentes de nanotecnologia. *O Globo*, Rio de Janeiro, 01/07/2005.
- ZACARIAS, Edison. *Simulação e Modelagem de Nanoestruturas – Theo-Nano*. São Paulo: Congresso Nanotec, 2006. Disponível em <[www.rjrconsultores.com.br/nano/ez.pdf](http://www.rjrconsultores.com.br/nano/ez.pdf)>. Acesso em 16/02/2007.
- ZANONI, Magda. Abertura. IN: MARTINS, Paulo Roberto (organizador). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminariosoma)*. São Paulo: Xamã, p. 27-31, 2006.

## **TABELAS**

**Tabela 1: Panorama de nanociências e nanotecnologias no mundo**

<b>Países</b>	<b>Ações</b>
África do Sul	A South Africa Nanotechnology initiative (SANi) foi estabelecida em 2002. As metas eram agregar valor aos minerais e combater a pobreza.
Alemanha	O Ministério da Educação e Pesquisa estabeleceu seis centros de nanotecnologia em 1998. De acordo com o relatório Worldwide Government Policy and Initiatives in Nanotechnology 2004, Alemanha, Suíça e Reino Unido eram os países europeus que mais investiam em nanotecnologia.
Argentina	Sem ampla discussão com a comunidade científica, foi criada, em abril de 2005, por decreto presidencial, a Fundação Argentina de Nanotecnologia, com orçamento federal de US\$ 10 milhões por cinco anos e estreita relação com a empresa Lucent Technologies.
Austrália	Em 2001, produtos à base de nanopartículas de óxido de zinco representaram 60% do mercado de bloqueadores solares no país. A nanotecnologia é uma das iniciativas da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), cujos resultados incluem oito patentes que se tornaram produtos comercializáveis. Cerca de 70 grupos trabalhavam com nanociência e nanotecnologia no país, principalmente com nanomateriais, nanopartículas, nanobiotecnologia e aplicações ambientais. Contudo, estudo conduzido pelo Australian Nanotechnology Benchmarking Project, fundado em 2003 pelo Australian Research Council, mostrou que a nanotecnologia não recebia tanta ênfase no país, embora ele colaborasse com instituições líderes no mundo nessa área.
Canadá	Em 2001, foi criado o National Institute of Nanotechnology. Esta instituição foi fruto de uma parceria entre o governo federal, o governo estadual de Alberta e a Universidade de Alberta, com recursos iniciais de US\$ 120 milhões.
Chile	Universidade do Chile, Universidade Técnica Federico Santa Maria e Universidade Católica são alguns exemplos de instituições que têm grupos de pesquisa envolvidos com nanociência e nanotecnologia, áreas que também contam com o apoio do Fundo Nacional de Inovação e Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

China	Projetos de pesquisa em Scanning Probe Microscopy (SPM) foram iniciados em meados da década de 80. De lá para cá, diferentes programas e centros foram estabelecidos no país para incentivar a nanotecnologia, inclusive sua comercialização. O Centro Nacional para Nanociência e Nanotecnologia foi criado em 2000. Atualmente, 50 universidades e 100 companhias estão envolvidas nessas áreas, além dos institutos da Academia Chinesa de Ciências – uma das instituições de pesquisa mais citadas na literatura de nanotecnologia. Há resultados importantes com nanotubos de carbono, nanopartículas e pós, e nanomateriais. A previsão de investimentos era de US\$ 300 milhões entre 2003 e 2007.
Cingapura	Principalmente com o propósito de desenvolver as indústrias de eletrônica, química e biomedicina, a Agency for Science, Technology & Research lançou a Nanotechnology Initiative, em 2001.
Colômbia	Em 2005, foram estabelecidos o Conselho Nacional de Nanociência e Nanotecnologia e a Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Nanotecnociência.
Coréia	Diversas iniciativas visam construir uma base sólida de pesquisa e incentivar a industrialização, como a Korea Nanotechnology Researchers Society e o National Nano Industrialization Program, além do National NanoFab Center, com estrutura compartilhada de instalações e equipamentos por mais de dez instituições. Destacam-se áreas como nanomateriais e nanodispositivos. A previsão é que, entre 2001 e 2010, o investimento seja da ordem de US\$ 1 bilhão – a meta é figurar entre os cinco primeiros países no ranking da nanotecnologia. O número de patentes cresce a passos largos. Nanoesferas de carbono e sílica usadas em desodorizadores e purificadores de ar são um exemplo de produto comercial da Coréia.
Costa Rica	Em agosto de 2004, foi inaugurado o Laboratório para Nanotecnologia, Microsensores e Materiais Avançados, que trabalhará com o Nasa Goddard Space Flight Center, dos Estados Unidos.

Espanha	O Ministério da Ciência e Tecnologia aprovou a Ação Estratégica em Nanotecnologia, dentro do Plano Nacional de Investigação Científica, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica 2004-2007. Além disso, mais de cem grupos de pesquisa originaram a rede NanoSpain. Outras iniciativas levaram à criação de institutos de nanotecnologia na Cataluña, em Zaragoza e Madrid. A nanoeletrônica é tema comum e há investimentos em microscopia.
Estados Unidos	Das cinco áreas prioritárias da National Science Foundation (NSF), a nanotecnologia é a que recebe a maior parte dos recursos[*]. A NSF é responsável por mais de 30% da National Nanotechnology Initiative (NNI), oficialmente lançada em 2001.
França	A Rede de Pesquisa em Micro e Nanotecnologias reúne laboratórios públicos, grupos industriais e o Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). O CEA, o Centre National de la Recherche Scientifique (CNCR) e o Ministério da Pesquisa lançaram, em 2002, o Programa Nacional de Nanociência e Nanotecnologia. As principais áreas são: energia, transporte, poluição, biotecnologia e farmácia.
Holanda	Em 1999, cinco programas de nanotecnologia receberam investimento inicial de US\$ 17 milhões.
Hong Kong	As ações de nanotecnologia do Innovation and Technology Fund tiveram início em 2001. Os principais projetos são sobre nanomateriais. Um deles, na Hong Kong Polytechnic University, lança mão da nanotecnologia para desenvolver tecidos inteligentes, que bloqueiam a radiação ultravioleta, não mancham, não molham ou, ainda, têm propriedades antibacterianas, entre outras. Em tempo: Hong Kong se destaca no mercado mundial como exportador de tecidos e roupas.
Índia	Um programa nacional com foco em nanotecnologia foi lançado em 2001. Com aplicação, por exemplo, no tratamento de câncer, sistemas de liberação controlada de fármacos baseados em nanopartículas são desenvolvidos por um grupo da Universidade de Deli, trabalho que já gerou patentes. Pelo menos duas empresas farmacêuticas do país já utilizam nanotecnologias: Dabur e Shanta Biotech.

Irlanda	O Irish Council for Science, Technology and Innovation criou uma força tarefa para estudar a situação da nanotecnologia no país e no mundo e criar uma estratégia nacional, missão concluída em 2004. Havia dez grupos de pesquisa em nanotecnologia de qualidade internacional. De acordo com o Nanotechnology Strategy Document 2003 to 2008, o orçamento do governo irlandês para nanotecnologia girava em torno de US\$ 50 milhões anuais.
Israel	Em 2002, foi lançado o Israel Nanotechnology Program, dentro da Israel National Nanotechnology Initiative. Centros de pesquisa, às vezes em cooperação com indústrias, realizam projetos em nanomateriais, nanobiotecnologia e nanoeletrônica, entre outras áreas. Destaca-se a empresa Nanopass, criada em 2000, cujos produtos são dispositivos para aplicar injeções intradérmicas sem dor e melhorar tratamentos cosméticos transdérmicos, especialmente antienvhecimento.
Itália	Conta com instalações no estado-da-arte para micro e nanofabricação. Um exemplo é o Laboratório para Litografia Interdisciplinar do Laboratório de Luz Síncrotron Elettra.
Japão	Publicado em 2001, plano do Japanese Council for Science and Technology estabeleceu quatro áreas estratégicas. Uma delas engloba nanotecnologia e materiais[**]. O Ministério da Educação, Cultura, Esportes, Ciência e Tecnologia (MEXT) lançou, em 2002, uma rede formada por mais de 500 laboratórios de pesquisa ligados à nanotecnologia. Vem do Japão um dos primeiros casos concretos de eletrônica não-silício. Trata-se de um dispositivo chamado NanoBridge, cuja tecnologia possibilita chips menores, mais baratos e rápidos.
Malásia	Foram aprovados projetos de nanotecnologia no âmbito do Intensification of Priority Research Areas Program.
México	Há várias universidades e centros de pesquisa trabalhando com nanociência e nanotecnologia, muitos em conjunto com grupos dos Estados Unidos e Europa. Mas ainda não havia um programa federal organizado e articulado.

Reino Unido	Em 1986, o National Physical Laboratory e o Department of Trade and Industry criaram a National Initiative on Nanotechnology. Por meio do Link Nanotechnology Programme (1988-1998), foram financiados projetos que resultaram em mais de 90 artigos e 20 patentes.
Rússia	Desde meados dos anos 70, desenvolve nanopartículas e materiais nanoestruturados. Foi o primeiro país a publicar um artigo sobre as propriedades de nanoestruturas, em 1976. Conta com algumas empresas de base nanotecnológica.
Suécia	Até outubro de 2004, não apresentava um programa específico de nanotecnologia. Mas o governo investia, por ano, cerca de US\$ 10 milhões em pesquisa e desenvolvimento nessa área.
Suíça	Desde 1990, prioriza as áreas de micro e nanotecnologia. O programa Topnano21, por exemplo, no período 2000-2003, recebeu US\$ 55 milhões para cerca de 200 projetos, que envolviam em torno de 150 companhias, entre elas a Nestlé. Entre os resultados, destacam-se janelas auto-limpantes.
Tailândia	O National Nanotechnology Center foi criado com orçamento de US\$ 25 milhões para o período 2004-2008. Além desse centro, laboratórios em universidades e agências governamentais também trabalham com nanotecnologia.
Taiwan	No laboratório aberto ITRI Nanotechnology Research Center, existem projetos em nanomateriais, nanoquímica, nanoeletrônica, nanofotônica, nanobiotecnologia etc. Um dos maiores do mundo em pesquisa e desenvolvimento de semicondutores, o National Nano Device Laboratories foi fundado em 1988. Os sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMs) do país já chegaram à produção comercial. Aprovado em 2002, o National Science and Technology Program for Nanoscience and Nanotechnology tem ênfase na industrialização. A Taiwan Nanotechnology Industrialization Promotion Association foi criada pelo governo e por empresas líderes em nanotecnologia.

Tabela elaborada com informações dos documentos “Subsídios para Cooperação Internacional em Nanotecnologia”, da Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias (dezembro/2003); “Estratégias

Institucionais e de Empresas”, de Fernando Galembeck e Márcia Maria Rippel (outubro/2004); “Nanotecnologia: Arranjos Institucionais em Países Selecionados da Ásia e Oceania”, de Celso Pinto de Melo (setembro/2006); e “Nanoscience and nanotechnology in Latin America”, de Guillermo Foladori (agosto/2006).

[\*] As outras quatro áreas são: biocomplexidade no meio ambiente; dinâmicas humana e social; ciências matemáticas; e força de trabalho para o século XXI.

[\*\*] As outras três áreas são: ciências da vida; informação e telecomunicações; e meio ambiente.

**Tabela 2: Projetos desenvolvidos no Brasil (Fonte: e-mails dos pesquisadores para a autora desta dissertação)**

Título do Projeto (Edital)	Informações	Fonte
Cooperação com a França em nanotecnologia (Edital MCT/CNPq nº 031/2005)	A idéia inicial era promover o intercâmbio de pesquisadores entre Brasil e França. O CNPq liberou os recursos, mas o lado francês não deu nenhuma contrapartida. Portanto, a colaboração vem sendo feita sem a dinâmica desejada. Ainda não há nenhum resultado em comum. O projeto pode resultar em algumas publicações científicas, mas, como se trata de física básica, não existe expectativa de patentes. (30/10/06)	Flávio Garcia – coordenador, LNLS.
Desenvolvimento de catalisadores para hidrogenação de polióis: melhoria na tecnologia atual utilizada pela Getec e prospecção de novas tecnologias (Edital MCT/CNPq nº 012/2004)	O projeto foi uma colaboração entre a empresa Getec Guanabara Química Industrial SA e o LNLS. Essa parceria trouxe contribuições significativas para ambas as partes devido ao conhecimento científico e tecnológico adquirido sobre o catalisador Ni-Raney e a síntese de nanopartículas de Ni com controle de tamanho. No LNLS, houve a capacitação de uma equipe e a montagem de infra-estrutura, que habilitam a instituição a estabelecer novas colaborações com outras indústrias produtoras de catalisadores. Uma proposta de patente relacionada ao processo de obtenção do catalisador Ni-Raney está em análise pela direção da Getec. Também já foram encaminhadas à empresa propostas de continuidade do projeto. (21/11/06)	Daniela Zanchet – supervisora técnico-científica, LNLS.
Desenvolvimento de membranas nanoestruturadas para aplicação em células de combustível (Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 018/2004)	O projeto foi aprovado em 2004, mas só foi contratado pelo CNPq no começo de 2006, de modo que ele está no estágio inicial. Já foram geradas publicações e alguns resultados foram apresentados em congresso no exterior. (27/10/06)	Ronaldo Mansano – coordenador, Escola Politécnica/ USP.

Desenvolvimento de Nanocompósitos Ecologicamente Corretos com Propriedades de Retardância de Chama para Aplicação no Setor Elétrico (Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 018/2004)	Além dos estudos de nanocompósitos retardantes de chama, há linhas de pesquisa sobre nano-sistemas para modificação reológica de fluidos de perfuração de poços de petróleo. (06/11/06)	Regina Sandra Veiga Nascimento – coordenadora, UFRJ.
Desenvolvimento de nanodispositivos como plataforma tecnológica de formulações farmacêuticas para tratamento de doenças cardiovasculares (Edital MCT/CNPq nº 012/2004)	Algumas questões sobre o projeto eram muito específicas e implicariam em quebra de sigilo. (07/11/06)	Robson Santos – coordenador, UFMG.
Desenvolvimento e produção de medicamentos na forma de nanopartículas (Edital MCT/CNPq nº 012/2004)	O trabalho ainda está em andamento. O foco é o desenvolvimento de medicamentos de base nanotecnológica nacionais. Mais detalhes não podem ser informados, visto que o projeto é realizado em parceria com empresa, o que envolve confidencialidade e patentes a serem depositadas. Em relação aos obstáculos, a maior dificuldade foi o estabelecimento do convênio universidade-empresa, incluindo a questão da propriedade intelectual. Mas isso já foi superado, com a mediação da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico da UFRGS. (24/10/06)	Silvia Guterres – coordenadora, UFRGS.
Membranas poliméricas nanoestruturadas para uso em células a combustível (Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 018/2004)	O relatório final, em preparação, será enviado a Petrobras e só depois ele poderá ser divulgado. Alguns resultados, porém, foram apresentados em congressos internacionais. (27/10/06)	Ailton de Souza Gomes – coordenador, Instituto de Macromoléculas/ UFRJ.
Nano-Aditivos à Borracha de Silicone para Aplicação sobre Isoladores de Porcelana ou Vidro em Ambientes de Alta Salinidade (Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 018/2004)	A previsão é de que o projeto esteja concluído em março de 2007. Ainda falta a etapa de testes de campo. Resultados intermediários já geraram artigos e foram apresentados em seminário nacional. (27/10/06)	Luiz Henrique Meyer – coordenador, Universidade Regional de Blumenau (Furb).

<p>Nanocatalisadores de Metais de Transição em Processos Para Células de Combustível (Edital CT-Energ/MCT/CNPq nº 018/2004)</p>	<p>O projeto já resultou no depósito de uma patente no INPI, no dia 17/10/06, sob o número provisório 220605272600. Trata-se do Processo de Armazenamento Reversível de Hidrogênio em Reservatórios Moleculares Baseados em Líquidos Iônicos. Outros resultados incluem uma tese de doutorado, que será defendida até abril de 2007, e um artigo submetido ao periódico Energy and Fuels. De modo bem resumido, o artigo mostra que determinados sais, na presença de certas nanopartículas, podem ser usados como materiais alternativos para dispositivos de armazenamento de hidrogênio on-board. (07/11/06 e 08/11/06)</p>	<p>Jairton Dupont – coordenador, UFRGS.</p>
<p>Nanociência e Nanotecnologia Aplicadas às Ciências da Vida: Bases Epistêmicas, Impasses Éticos (Edital MCT/CNPq nº 013/2004)</p>	<p>Procurou-se construir reflexões epistemológicas da N&amp;N de modo a mostrar sua emergência histórica e demarcar suas especificidades científicas e tecnológicas. Como exemplo, construiu-se uma abordagem histórica que pretende reavaliar a tese de que Feynman seria a "origem" da N&amp;N e Drexler seu "sucessor" direto. Existe a pretensão de se pensar a N&amp;N como tecno-ciência que visa a estratégias de construção, mais do que conhecimento como descoberta e vislumbre reflexivo/representativo da verdade. Aproveitou-se a N&amp;N para se pensar parâmetros éticos-reflexivos que não tomem como ponto de partida o conceito de "ser humano" ou de "pessoa", mas que a reflexão ética sobre os novos desafios nanotecnológicos partam da noção política de "governo", segundo Foucault. Uma vez que só agora a filosofia começa a trabalhar o tema N&amp;N, um dos maiores obstáculos para a realização do projeto foi a falta de acesso a informações qualificadas e de alunos preparados. Não foi possível uma inserção em pós-graduação, mas discutiram-se assuntos relativos à N&amp;N em graduação de filosofia, o que obrigou os discentes envolvidos a pensarem filosoficamente sobre problemas, e não sobre filósofos. Além disso, os resultados incluem a</p>	<p>Marcos Nalli – coordenador, Universidade Estadual de Londrina (UEL).</p>

	realização de palestras e a produção de textos. A novidade para 2007 é que Nalli deve fazer um pós-doutorado em filosofia, na EHESS-Paris, sobre a N&N. Ele, que já tem o aceite tanto do supervisor como da instituição, busca obter a bolsa da Capes ou do CNPq. (13/01/07)	
NanoSoluções – Produtos, Serviços e Processos Inovadores Utilizando Nanotecnologia Aplicada (Edital MCT/CT-BIOTEC/CNPq nº 58/2005)	O projeto está no início, pois o CNPq somente liberou os recursos para equipamentos. Ele visa apoiar as empresas incubadas Orbys, Ciallix, STQ e Biosíntesis, que atuam em nanotecnologia. (27/10/06)	Maurício Susteras – Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (Cietec).
Processo inovador de síntese em materiais nanoparticulados para a indústria cerâmica de alta tecnologia (Edital MCT/CT-BIOTEC/CNPq nº 58/2005)	Os resultados obtidos até agora sugerem a viabilidade de se obter pós de SnO <sub>2</sub> dopados com Cr e Mn nanoestruturados. Entretanto, para a obtenção de partículas nanométricas desses óxidos de forma controlada, é necessário um estudo sistemático das condições e dos precursores usados durante o tratamento térmico. Atualmente, a tecnologia adquirida do protótipo laboratorial está sendo transferida para o protótipo industrial (planta piloto). Quanto à publicação de artigos, contrato com as empresas participantes - uma mineradora de porte médio, uma grande empresa de cerâmicas de revestimento e uma multinacional de refrigeração - impede a divulgação dos resultados alcançados até o momento. Está em andamento o pedido de patente de produto e processo. Junto à UEPG, as empresas são agregadas na pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia para viabilizar uma spin-off, atualmente incubada. (27/10/06)	Sergio Tebcherani – coordenador, UEPG.
Rede Cooperativa em Materiais Nanoestruturados Aplicados à Tuberculose e Pbmicose (Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003)	A proposta é usar as drogas clássicas para o tratamento da tuberculose e da pbmicose, porém veicular os fármacos em carreadores magnéticos nanoestruturados, que levariam os medicamentos diretamente aos órgãos alvos e, assim, reduziriam os efeitos colaterais. Em uma primeira etapa, as atividades consistem em produzir e	Paulo Cesar de Moraes – coordenador, UnB.

	<p>caracterizar as novas formulações nanoestruturadas. Depois, são realizados os testes com animais infectados. Já foram obtidos resultados vantajosos para o caso da pbmicose e uma patente está sendo solicitada, com a expectativa de que um novo produto chegue ao mercado. A meta agora é testar na tuberculose a estratégia de sucesso obtida na pbmicose. Existem, porém, limitações orçamentárias. "Tivemos à nossa disposição pouco mais de US\$ 100 mil. [...] Com certeza, nenhum laboratório farmacêutico mundial entraria em um projeto desses, com apenas uma droga, com orçamento abaixo de US\$10 milhões. A diferença é, portanto, astronômica." (30/10/06)</p>	
<p>Rede Cooperativa Pilha a Combustível de Óxido Sólido (Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003)</p>	<p>A rede nacional se dedica a divulgar e fomentar o desenvolvimento de pilhas a combustível de óxido sólido no Brasil. Houve diversas reuniões e seminários. Grupos de trabalho colaborativo foram estabelecidos, artigos foram publicados e uma patente foi depositada. O "resultado" mais importante no momento é um projeto de R\$ 4,6 milhões, a ser financiado pela Finep, para grupos em várias instituições do país. Em 2007, as atividades de pesquisa e desenvolvimento se tornarão mais intensas. Também em 2007, começarão a ser defendidas as cerca de 40 teses de mestrado e doutorado financiadas com recursos da rede. Os obstáculos para a realização do projeto incluem apoio financeiro; demora na liberação de verbas; negociações com órgãos governamentais; insensibilidade de certas instituições brasileiras pela dificuldade em dividir o trabalho, os recursos e os resultados; e problemas de relacionamento pessoal entre pesquisadores nacionais. No Laboratório de Hidrogênio da Coppe, existe uma linha de pesquisa sobre fabricação e teste de eletrodos nanoestruturados para pilhas a combustível de óxido sólido. (25/10/06)</p>	<p>Paulo Emílio V. de Miranda – coordenador, Coppe/ UFRJ.</p>

<p>Rede de Nanoanálise e Diagnóstico: Pesquisa, Desenvolvimento e Estudo de Aplicações de Nanoestruturas nas Análises Clínicas e Bioquímicas - Diagnóstico Molecular e Celular (Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003)</p>	<p>Trata-se de uma rede de laboratórios com o objetivo de usar as propriedades das nanopartículas e da nanoescala para detectar, dosar, quantificar e separar moléculas de interesse biológico, como ácidos nucleicos, proteínas e metabólitos. Há trabalhos publicados em revistas, participações em congressos, teses defendidas e outras produções. Foi desenvolvido um sistema capaz de extrair uma molécula específica de um meio complexo de moléculas. Ele permite, por exemplo, capturar enzimas no fluxo de saída de um meio de cultura, em um reator contínuo, e reintroduzi-las no fluxo de alimentação. Patente está sendo depositada pela UFRGS. Uma empresa está firmando contrato com a universidade, com previsão de pagamento de royalties, para usar a tecnologia na hidrólise da celulose da madeira - o produto dessa hidrólise serve para produzir bioetanol. (24/10/06)</p>	<p>Tarso Kist – coordenador, UFRGS.</p>
<p>Rede Multi-institucional em Materiais Avançados e Nanotecnologia: Desenvolvimento de Protótipos e Nanodispositivos (Edital CT-FVA/CNPq nº 01/2003)</p>	<p>De 2005 a junho de 2006, produziu em torno de 100 publicações em periódicos internacionais; depositou cinco patentes e está em processo de elaboração de outras três; e realizou mais de dez apresentações e palestras em conferências internacionais. Não houve obstáculos relevantes para a execução dos projetos, mas alguns percalços quanto à infra-estrutura dos laboratórios, que ainda precisam de recursos financeiros para um melhor atendimento aos propósitos da rede, composta por UFBA, UFPE, UFRGS e UFPR, além da empresa FlexiTec – Eletrônica Orgânica. (30/10/06)</p>	<p>Antonio Ferreira da Silva – coordenador, UFBA. Site: <a href="http://www.reman.ufba.br">www.reman.ufba.br</a> Subcoordenador: Eronides Silva, UFPE</p>
<p>Viabilização da empresa Nanobrax - Soluções Tecnológicas (Edital MCT/CT-BIOTEC/CNPq nº 58/2005)</p>	<p>Quando o projeto foi submetido, a Nanobrax era considerada uma empresa em estágio de pré-incubação. A partir do aporte de recursos do governo e de contrapartidas da própria Nanobrax, esta é uma empresa legalmente constituída desde janeiro de 2006. O primeiro cliente é uma indústria de embalagens plásticas para fins</p>	<p>Antonio Eduardo da Hora Machado – coordenador, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)/ Nanobrax. Site: <a href="http://www.nanobrax.com">www.nanobrax.com</a></p>

	veterinários que busca um diferencial no mercado e alcançar novos nichos. A Nanobrax já concorreu a recursos de outros três editais. No Edital Pappe, por exemplo, foi contemplada com R\$ 200 mil, recursos ainda não liberados. Com o Pappe, o objetivo é a empresa continuar o desenvolvimento de tecnologias de cunho ambiental, notadamente envolvendo o emprego de processos oxidativos avançados. A Nanobrax contará com recursos para custeio e atração de pesquisadores com nível de doutorado. (27/10/06)	
--	---	--

**Tabela 3: Projetos desenvolvidos no Brasil (Fonte: relatório de nanotecnologia do MCT de junho de 2006)**

Título do Projeto (Edital)	Informações
Acoplamento de emissores nanoscópicos de luz a modos ópticos de microcavidades esféricas com alto fator de qualidade (Edital MCT/CNPq n <sup>o</sup> 28/2005)	O objetivo é entender a interação entre a luz e a matéria em comprimentos nanoscópicos, assim como a manifestação e a manipulação de propriedades quânticas desse sistema. Os resultados podem ter impacto nas áreas de bio-sensores e criptografia quântica. O principal obstáculo é a falta de espaço físico para a instalação de novos laboratórios na UFPE. O projeto é coordenado por Leonardo de Souza Menezes, do Departamento de Física dessa universidade.
Aplicações da nanobiotecnologia para o estudo de mediadores e mecanismos envolvidos nas respostas inflamatórias em modelos experimentais de isquemia e reperfusão (Edital MCT/CNPq n <sup>o</sup> 28/2005)	Coordenado por Danielle da Glória de Souza, da UFMG, o projeto visa favorecer tanto o melhor entendimento dos mediadores e mecanismos de doenças inflamatórias agudas como oferecer subsídios para novas estratégias terapêuticas.
Compósitos poliméricos reforçados com nanopartículas de superfície modificada para aplicação em dentística restauradora (Edital MCT/CNPq n <sup>o</sup> 28/2005)	Coordenado por Emerson Marcelo Girotto, da UEM, o projeto visa preparar polímeros reforçados com nanopartículas e estudar seu comportamento químico, mecânico e clínico, bem como entender os fenômenos de interface. Os frutos desse trabalho podem incluir a produção industrial de resinas

	poliméricas de base nanotecnológica dirigidas à área de materiais odontológicos, fortalecendo o mercado nacional. O projeto começou em fevereiro de 2006, mas a parte experimental do projeto ainda não teve início, devido ao atraso no recebimento do dinheiro e dos equipamentos importados.
Desenvolvimento de nanocompósitos de poliestireno contendo argilas modificadas (Edital MCT/Finep/Ação Transversal - Nanotecnologia - 03/2005)	O objetivo é produzir um novo material com propriedades como incombustibilidade, não-propagação à chama, redução de ataque por raios UV e melhor resistência mecânica. Ele teria aplicações em resinas, tintas, vernizes, lacas e esmaltes. O projeto está em andamento. Executor: UFSC. Interveniente: Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes).
Desenvolvimento de novas formulações utilizando nanodispositivos para o tratamento de doenças cardiovasculares (Edital MCT/Finep/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004)	O princípio ativo está em fase de testes em cobaias. Executor: UFMG. Interveniente: Biolab Sanus Farmacêutica Ltda e Biosintética Farmacêutica Ltda.
Desenvolvimento de novos materiais nanoestruturados para aplicações em células solares orgânicas e híbridas (Edital MCT/CNPq nº 28/2005)	Coordenado por Ana Flávia Nogueira, da Unicamp, o projeto tem como objetivos a construção, a caracterização e a aplicação de dispositivos para converter energia solar em eletricidade. A idéia é que os dispositivos – dirigidos ao mercado – sejam feitos com materiais e métodos simples e baratos. O projeto está na fase de protótipo e duas novas patentes estão sendo redigidas. Antes desse edital, o grupo de pesquisa já havia depositado uma patente, em 2001. As principais dificuldades encontradas dizem respeito a recursos humanos e equipamentos.
Desenvolvimento de sistemas nanoestruturados contendo anti-neoplásicos para tratamento de tumores sólidos e queratoses actínicas (Edital MCT/Finep/Ação Transversal - Nanotecnologia - 03/2005)	Compostos de platina, como a cisplatina, têm sido usados no tratamento de vários tipos de câncer, mas seu emprego é limitado devido aos efeitos colaterais. Os sistemas nanoestruturados possibilitam a liberação do fármaco na região do tumor, minimizando os efeitos colaterais. Resultados mostraram que, se comparada à cisplatina livre, a cisplatina acoplada a sistemas nanoestruturados apresentou

	<p>maior atividade contra células tumorais de pulmão. O projeto está em andamento. Executores: UFMG e Cetec-MG. Interveniente: Centro de Pesquisas e Tratamento de Câncer SA (Biocâncer).</p>
<p>Desenvolvimento e implementação de brackets cerâmicos de <math>ZrO_2</math> e <math>Al_2O_3</math> com adição de pigmentos (Edital MCT/Finep/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004)</p>	<p>O projeto está na fase final de desenvolvimento do produto (brackets cerâmicos de base nanotecnológica). Trata-se de um produto inédito no mercado nacional. A meta é que ele seja mais barato do que os importados e torne o tratamento ortodôntico mais acessível. Executor: UFRN. Interveniente: Tecnident Equipamentos Ortodônticos Ltda.</p>
<p>Desenvolvimento tecnológico de nanocosméticos (Edital MCT/Finep/Ação Transversal - Nanotecnologia - 03/2005)</p>	<p>O projeto, em andamento, consiste em três frentes de atuação em nanotecnologia: fotoprotetores, para prevenção de câncer de pele; nanoencapsulação de fitoquímicos, para tratamento de acne e produtos anti-envelhecimento; e nanoencapsulação de ativos consagrados pela prática clínica com ação antiinflamatória e cicatrizante. Executor: UFRGS. Interveniente: Biolab Sanus Farmacêutica Ltda.</p>
<p>Efeito magnetocalórico em nanomateriais e nanoestruturas: refrigeração e aquecimento (Edital MCT/CNPq nº 28/2005)</p>	<p>Coordenado por Ângelo Márcio de Souza Gomes, da UFRJ, o projeto visa favorecer tanto a pesquisa básica (estudo de materiais magnéticos) como a indústria (aplicações para economia de energia e uso de energia limpa). O grupo está importando os equipamentos (despesas de capital), mas falta financiamento para despesas de custeio, de modo que os pesquisadores estão solicitando novos auxílios ao CNPq.</p>
<p>Estudo do Exchange Bias em sistemas nanométricos com anisotropia arbitrária (Edital MCT/CNPq nº 28/2005)</p>	<p>Trata-se de um projeto de pesquisa básica e, portanto, não há expectativa de patentes. Espera-se publicar ao menos dois artigos científicos em periódicos renomados. O coordenador é Flávio Garcia, do LNLS, que também teve um projeto aprovado no Edital MCT/CNPq nº 31/2005.</p>

<p> Materiais nanoestruturados baseados em cucurbiturilas e seus derivados como interfaces moleculares, nano-reatores e materiais de encapsulamento (Edital MCT/CNPq nº 28/2005)</p>	<p>Fertilizantes nanoencapsulados, cuja perda por lixiviação seria menor, estão em fase de aquisição de dados para validação estatística. Nanocompósitos híbridos, que, em tese, aumentariam a capacidade de carga de baterias de lítio, estão em fase de obtenção de resultados eletroquímicos. A concessão da verba foi o ponto de partida para a estruturação de um grupo competitivo. Contudo, houve demora para importação de materiais. O projeto é coordenado por Grégoire Jean-François Demets, da USP em Ribeirão Preto.</p>
<p>Nanocompósitos de borracha natural para adesivos e outros produtos (Edital MCT/Finep/Ação Transversal - Nanotecnologia - 03/2005)</p>	<p>O produto estará disponível em breve no mercado. Executores: Unicamp e Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins. Interveniente: EF Engenharia Ltda.</p>
<p>Preparação e utilização de nanopartículas de semicondutores para marcação celular e para o desenvolvimento de novas técnicas de diagnósticos (Edital MCT/CNPq nº 28/2005)</p>	<p>Com ênfase em câncer, o projeto busca métodos diagnósticos mais precisos, rápidos e baratos. Já foi estabelecido protocolo para diagnóstico de câncer de mama e está em andamento estudo piloto para estabelecimento de protocolo para diagnóstico de neoplasias cervicais. Protocolos para diagnóstico de câncer de cérebro e leishmaniose estão em desenvolvimento. Coordenado por Patrícia Maria Albuquerque de Farias, da UFPE, o projeto já rendeu o depósito de uma patente, publicações em periódicos internacionais, apresentações em eventos internacionais e convite para visita técnica ao Georgia Institute of Technology. A principal dificuldade é a limitação de recursos.</p>
<p>Obtenção de nanocompósitos biodegradáveis derivados da combinação de argilo minerais com blendas polietileno-amido (Chamada Pública MCT/Finep/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004)</p>	<p>O objetivo é produzir plásticos biodegradáveis, a partir de argilas nacionais e amido, para embalagens e outros artefatos. O projeto está em andamento, mas existe elevada probabilidade de gerar patente e produto comercializável. Executor: UFMG. Interveniente: Petrobras.</p>
<p>Revestimentos cerâmicos especiais utilizando nanomateriais (Edital MCT/Finep/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004)</p>	<p>O projeto visa usar nanotecnologia para desenvolver pigmentos luminescentes, decoração personalizada e superfícies magnéticas para peças cerâmicas. O trabalho está</p>

	em andamento, mas existe a possibilidade de que indústrias do Nordeste fabriquem produtos para todo o país e o exterior. Executor: UFS. Interveniente: Cerâmica Sergipe SA.
Síntese de nanocompósitos de polipropileno por polimerização in situ (Edital MCT/Finep/Ação Transversal - Nanotecnologia - 03/2005)	Os nanocompósitos terão aplicação, especialmente, no setor automotivo. O projeto está em andamento. Executores: Instituto de Macromoléculas (IMA)/ UFRJ e Centro de Tecnologia Mineral (Cetem). Interveniente: Petrobrás.
Síntese e nanoestruturação de uma chalcona ativa para tratamento da leishmaniose (Edital MCT/Finep/FNDCT - Nanotecnologia - 01/2004)	O projeto está em andamento, mas existe a possibilidade de obtenção de produto 100% nacional. Executor: Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho/ UFRJ. Interveniente: Biosintética Farmacêutica Ltda.

Obs.: Além dos projetos apresentados nas tabelas, existem outros com temas tais como: sistemas nanoestruturados de liberação controlada de vitamina B12 para aplicações veterinárias; biocerâmicas nanoestruturadas para uso clínico na regeneração óssea; dispositivos ópticos ultra-rápidos baseados em quantum dots etc.

## **ANEXOS**

**Anexo 1: Entrevista de Henrique Toma à autora desta dissertação, por e-mail, em 12/03/2007**

**1- Quando e como o senhor teve contato pela primeira vez com a nanotecnologia, mesmo que, na época, o termo nanotecnologia não fosse tão comum quanto é hoje?**

**Henrique Toma:** Acho que adquiri sensibilidade para o mundo nano quando conheci o Prof. Henry Taube (Universidade de Stanford) em 1970, no final do meu curso de graduação em Química na USP. Foi quando ele me ensinou o significado do que vem a ser transferência de elétrons, e despertou minha curiosidade sobre as cores, principalmente das rochas e minerais. Hoje está claro para mim que a transferência de elétrons é um processo fundamental em nanotecnologia. De fato, um simples elétron passando entre dois átomos ou moléculas é a melhor forma que existe de aproveitar a energia: isso acontece na cadeia respiratória, fotossintética, na fixação de nitrogênio, nos processos biológicos, nas pilhas e baterias, nas células solares e de combustível, a título de exemplo.

Taube foi o primeiro a elucidar a passagem de um elétron entre dois átomos, através de uma ponte molecular, em 1953. Mas foi além, ao explorar a transferência de elétrons como forma de comunicação molecular, mediada pelas funções de onda. Isso era nítido nos compostos que apresentavam vários estados de valência, conhecidos como compostos de valência mista, com os quais se ocupou ao longo de sua vida. O modelo que ele criou foi usado por Aviram, em 1974, quando registrou a primeira patente em eletrônica molecular e talvez a primeira em nanotecnologia. Tratava da proposição de um dispositivo teórico, baseado na condução eletrônica de uma molécula colocada entre dois eletrodos metálicos.

Na realidade, trabalhar com tecnologia em escala molecular já era um sonho, desde a metade do século passado, propalado por Richard Feynman, em seu famoso discurso *There is plenty of room at the bottom*, proferido em 1959, na Califórnia. Feynman, que veio a ter profunda influência na física brasileira na metade do século passado, já sabia que uma tecnologia com essa capacidade poderia modificar radicalmente o mundo. Justificou isso dizendo que seria possível colocar todo o conteúdo da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete. No início dos anos 80, Eric Drexler transportou esse sonho para a ficção, ao imaginar uma nova tecnologia baseada em máquinas montadoras, atuando na escala molecular. Depois, em 1982, Binnig e Rohrer, da IBM/Suíça, inventaram a Microscopia de Varredura de Sonda, capaz de visualizar e deslocar átomos, e traçar imagens na escala nanométrica. Foi quando a nanotecnologia deixou de ser ficção. A eletrônica molecular, previamente concebida por Taube em outros termos, passou a ser vista sob a luz da nanoeletrônica, onde os bits seriam comandados pela passagem de elétrons sob aplicação de potencial ou de luz.

Em 1983, quando Taube recebeu o Prêmio Nobel de Química, eu já tinha uma nítida visão do que viria nos anos seguintes. Em 1987, ao receber o Prêmio Heinrich Rheinboldt, me foi solicitado uma conferência desafiadora, de alto impacto, para marcar o evento. Reuni minhas idéias e trabalhos no tema Transporte de elétrons: implicações em sistemas inorgânicos, biológicos e em novos materiais. Em sua devida época, o conteúdo dessa conferência retrata bem o que estamos vivenciando hoje na nanoeletrônica: nanodispositivos para conversão de energia e nanomateriais condutores. Os temas mais fortes de pesquisa nessa época estavam ligados à fotoquímica e fotofísica, onde a estratégia mais importante era promover a separação de cargas elétricas, como forma de armazenar energia, a exemplo do que acontece na fotossíntese. A máquina fotossintética tornou-se objeto de cobiça dos pesquisadores, e muito trabalho foi feito em nosso grupo para modificar porfirinas e compostos macrocíclicos, incorporando elementos metálicos e conectores, gerando sistemas bastante complexos e elaborados. Com os trabalhos de Jean Marie Lehn (Prêmio Nobel de Química, 1987), essa abordagem ficou conhecida como supramolecular, isto é, uma química além da molécula. Nascia uma nova visão da química, capaz de montar tudo a partir da autoorganização molecular, com arranjos inteligentes e funcionais. Seria a resposta para uma nova tecnologia, em escala molecular. Por isso, a química supramolecular passou a ser vista como passaporte para a nanotecnologia

molecular. Esse foi o meu caminho, iniciado com a química dos complexos, e passando pela transferência de elétrons, química dos macrocíclicos e supramolecular (bioinorgânica), até chegar à nanotecnologia molecular.

## **2- Quando e como o senhor começou a trabalhar com nanotecnologia, mesmo que, na época, o termo nanotecnologia não fosse tão comum quanto é hoje?**

**Henrique Toma:** No meu percurso, que já não é tão curto, outro ponto de ruptura também aconteceu através de uma conferência especial, igualmente desafiadora, que proferi na abertura da 14ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, em 1991, na cidade de Caxambu. O título era *Desenvolvimento de supermoléculas – em rumo à química supramolecular*. Só agora percebo o impacto dessa conferência em minha vida. Na realidade, estava propondo um novo desafio para mim mesmo: fazer montagens moleculares, trabalhando com as mesmas como se fossem peças de LEGO, para gerar sistemas funcionais, capazes de realizar trabalho, por exemplo, transferindo elétrons, direcionando e transformando a energia, ou promovendo catálise. Para mim, essa abordagem tornou-se a essência da nanotecnologia molecular. A partir disso, direcionei todo meu esforço para esse fim, e abracei de forma definitiva essa área de pesquisa.

## **3- O que o motivou a trabalhar com nanotecnologia?**

**Henrique Toma:** A nanotecnologia, em função da minha trajetória científica, foi um caminho lógico, natural, pois passei a ver uma simples molécula como parte de uma máquina mais complexa, movida por elétrons e fótons. Por isso, era importante melhorar minha capacidade de interagir ao nível molecular. Passei a utilizar ferramentas acopladas, como a espectroeletrólise, fotoeletrólise, e investi algum tempo em química teórica ou computacional. Era importante saber como uma molécula reage à perda ou ganho de elétrons, conhecer qual de seus orbitais é mais afetado ou tem papel decisivo, e determinar como isso influi em sua capacidade de transferir energia para uma interface, para gerar um dispositivo. Precisava de técnicas acopladas, capazes de proporcionar várias informações simultâneas, sobre estados eletrônicos, potenciais e comportamento químico, como o Raman ressonante, a microscopia no infravermelho e a luminescência resolvida no tempo. Esse acoplamento foi evoluindo gradualmente em nosso grupo, interligando tudo, espectroscopia, eletroquímica, fotoquímica, ressonância plasmônica, até chegar à microscopia de varredura de sonda.

## **4- Antes do ano 2000, o senhor já tinha resultados em nanotecnologia? Quais os principais?**

**Henrique Toma:** Por volta de 1985, quando conheci o Prof. Alfred B. Lever (Univ. York, Canadá), solicitei uma amostra de um complexo de rutênio com três ligantes bipirazínicos, descrito em um trabalho que ele acabara de publicar. A pirazina é um grupo aromático com dois átomos de nitrogênio em cada extremo, e na forma dimérica gera um complexo bastante estável com rutênio. O que havia me chamado a atenção é que tal complexo poderia atuar como um centro estrutural capaz de interligar seis complexos metálicos e gerar uma supermolécula. Com essa amostra, dei início a uma série de estudos com sistemas automontados que chegavam a incorporar seis complexos de ferro ou rutênio, gerando supermoléculas heptanucleares com alta densidade de carga. De fato, isso marcou o início da linha de química supramolecular em nosso laboratório. Esses complexos tinham algo de novo: além da alta simetria, eram capazes de produzir fotocorrente quando na forma de filmes. Essa curiosidade me fez perseguir outros tipos de complexos polinucleares, incluindo as tetrapiridilporfirinas, capazes de gerar estruturas supramoleculares dotadas de funcionalidade, isto é, capazes de fazer fotoconversão de energia, catálise, ou de atuar como interfaces inteligentes. Assim, logo percebi que o aproveitamento prático desses sistemas iria depender da possibilidade de gerar filmes moleculares. A questão das interfaces é uma das mais críticas na área de dispositivos. Ao planejar estruturas supramoleculares, desenvolvi o sentido da engenharia molecular, e acabei entrando no mundo da nanotecnologia. Descobri, depois, todo um universo voltado para dispositivos

moleculares, desde os displays, janelas eletrocromáticas, sistemas fotovoltaicos, fotoeletroquímicos, oleds (*organic light emitting devices*), portas lógicas, etc.

#### **5- Atualmente, quais são seus principais projetos em nanotecnologia?**

**Henrique Toma:** Eu continuo fiel à minha origem, como químico inorgânico, incorporando um pouco de cultura bioquímica, de materiais e de tecnologia em minhas pesquisas. Meu grupo vem trabalhando essencialmente em três grandes temáticas, seqüenciais: a) síntese de compostos e montagem de estruturas supramoleculares; b) transformação e exploração desses sistemas sob o ponto de vista de nanomateriais, incluindo filmes moleculares e nanopartículas; c) desenvolvimento de dispositivos sensoriais, eletrônicos, catalíticos ou voltados para fotoconversão de energia.

#### **6- Sobretudo a partir de 2001, o MCT começou a fomentar a nanotecnologia por meio de ações específicas. O seu trabalho com nanotecnologia se beneficiou dessas ações? Como?**

**Henrique Toma:** Sem dúvida, fomos bastante beneficiados, e sou muito grato por tudo que recebi. O Programa do Instituto do Milênio de Materiais Complexos (PADCT), em sua primeira edição, nos concedeu um sistema bastante completo de microscopia de varredura de sonda (AFM, STM e suas modalidades). Como já tínhamos equipamentos de microscopia vibracional (FTIR) e de espectroscopia eletrônica e Raman com fibras ópticas, adquiridos com recursos de Projetos Temáticos da Fapesp, foi possível montar um laboratório bastante versátil para caracterização de filmes moleculares e nanoestruturas, com um diferencial em termos de riqueza metodológica, abordagens e resultados. Recentemente, incorporamos a espectroscopia de ressonância plasmônica em nossos trabalhos, e o Instituto foi beneficiado com um microscópio eletrônico de varredura.

As iniciativas em nanotecnologia também estimularam nossa inserção nas redes, ampliando as interações de cooperação e a troca de idéias com outros pesquisadores. Considero tudo isso muito importante.

#### **7- Como o senhor avalia o trabalho do Instituto do Milênio de Materiais Complexos? O senhor participa ou participou de alguma outra iniciativa de rede de nanotecnologia?**

**Henrique Toma:** Além das facilidades instrumentais obtidas através do Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IM<sup>2</sup>C), na primeira edição, as colaborações com outros grupos, nas áreas de espectrometria de massas, microscopia, oleds e fotoeletroquímica, proporcionaram um salto significativo de qualidade em nossas pesquisas. Da mesma forma, também participamos ativamente da colaboração com outros grupos, em termos científicos.

Na segunda edição do Instituto do Milênio de Materiais Complexos, estou atuando como coordenador de 20 grupos de pesquisa interligados em diversas áreas do conhecimento. Tem sido uma experiência gratificante, apesar de os recursos liberados nessa fase terem sido limitados, em termos relativos. Felizmente, os grupos participantes são bastante fortes, e não dependem muito de recursos de infraestrutura. Assim, na segunda fase do Instituto do Milênio, foi dada prioridade à continuação das interações já estabelecidas e à ampliação das mesmas, com inserção de novos grupos.

Nosso grupo também participa da Rede de Nanotecnologia Molecular e Interfaces (Renami), que ajudei a nuclear, em sua primeira fase. Foi uma experiência nova, de buscar cooperação por meio da rede, aproximando pesquisadores e fomentando a discussão de temáticas e prioridades. Ao contrário dos Institutos do Milênio, participam grupos de todos os níveis, e o apoio à consolidação dos emergentes é um dos pontos visados.

Em termos das iniciativas em nanotecnologia no Brasil, considero que minha participação é bastante significativa, e me orgulho muito disso, principalmente pelo esforço que isso demandou. Por isso, gostaria de tecer algumas considerações a respeito.

Eu sempre fui muito ativo em atividades de divulgação, por meio de palestras e entrevistas, principalmente voltadas para o setor acadêmico, centradas em aspectos das nanociências. Aos poucos, essas atividades foram crescendo, catalisadas pelo interesse despertado nas empresas pela nanotecnologia. Em 2004, foi formada a rede USP de

Nanotecnologia, coordenada pela Pró-Reitoria de Pesquisa. Um dos objetivos era chegar até o setor empresarial e, por isso, quase a metade dos participantes dessa rede estava ligada à iniciativa privada, fora da academia. Nesse mesmo ano, publiquei o livro *O universo nanométrico: a dimensão do novo século* (Editora Oficina de Texto, 2004) e, impulsionado pela rede, passei a dar conferência quase todas as semanas, visitando empresas, sindicatos, câmaras de comércio e associações profissionais. Isso fortaleceu uma iniciativa empresarial, que culminou com a realização da Nanotec Expo 2005, em São Paulo, que reuniu mais de 3.000 participantes de todos os setores. Esse evento foi repetido com enorme sucesso em 2006, com mais de 4.500 participantes. Nesses eventos, tem sido gratificante ver o reflexo de um trabalho, praticamente desconhecido da comunidade, mas que posso captar nos reencontros, nos cumprimentos e na simpatia dos amigos e conhecidos gerados ao longo dessas andanças, que ainda prosseguem até o presente. Já foram mais de 60 palestras técnicas nos últimos três anos, quase 100 entrevistas, publicações em jornais e revistas não-científicas, e uma dezena de programas de vídeo e TV, sempre focalizando o tema da nanotecnologia.

Outra atividade que considero importante foi minha participação como convidado do MCT e do CGEE em missões de visitas a centros de nanotecnologia na França e Alemanha, em 2004 e 2005, e como consultor em diversas iniciativas do governo, incluindo minha participação nos grupos técnicos para estudo de centros nacionais de nanotecnologia, em âmbito federal, e do Estado de São Paulo. Também incluo minha participação, juntamente com outros colegas da Unicamp, nas iniciativas que deram início ao Instituto Brasil-Argentina de Nanotecnologia.

Meu interesse em nanotecnologia me levou a freqüentar os principais eventos de nanotecnologia no exterior. [...] Esses eventos contribuíram bastante para a minha visão atual sobre o estado da arte da nanotecnologia.

**8- O seu trabalho com nanotecnologia está, de alguma forma, ligado à iniciativa privada? Já colocou algum produto no mercado ou existe essa possibilidade?**

**Henrique Toma:** Até recentemente, nossa participação junto à iniciativa privada tem sido apenas como uma espécie de indutora de mudanças, por meio de consultorias e visitas, refletindo-se principalmente na criação de empregos e oportunidades. Porém, após a Nanotec Expo 2006, a procura pelo setor privado cresceu bastante e, de repente, nos vimos sem qualquer possibilidade de atuar nos moldes tradicionais da atividade acadêmica. A única forma de fazer frente a esse desafio foi direcionar os alunos em final de tese para atividades empreendedoras, por meio da criação de empresas *spin-off*. Atualmente, quatro dos nossos alunos já estão constituindo empresas de nanotecnologia, e começam a atuar com boas perspectivas de sucesso, pautadas na inovação. Os problemas legais encontrados na interface universidade-empresa ainda continuam imensos, apesar de todo o trabalho em torno da Lei de Inovação e Patentes. Na minha visão pessoal, será muito difícil atuar de forma competitiva ou eficiente nessa interface, sem a devida articulação, principalmente com as *spin-offs*. Mas estou certo de que elas conseguirão transformar em produtos as idéias, que, no âmbito acadêmico, sempre careceram de reconhecimento ou de valorização.

**9- Como o senhor avalia o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil? Quais são, na sua opinião, os principais méritos, dificuldades e potenciais?**

**Henrique Toma:** A nanotecnologia não pode ser discutida com um foco pontual, como geralmente é feito. Existem aspectos científicos, educacionais, tecnológicos, sociais e econômicos a serem considerados em conjunto. Eu sempre vejo a nanotecnologia como um produto que sai de um sistema, em cujo interior estão quatro componentes: o conhecimento científico, a capacitação técnica-instrumental, a capacitação tecnológica e a capacidade de simulação/previsão. Esse sistema é impulsionado pelo fluxo da atividade econômica e modulado pelas questões de natureza educacional, ambiental, energética e social, até gerar o produto. O sucesso desse produto, a nanotecnologia, depende, portanto, de muitos fatores que, geralmente, atuam em conjunto e demandam tempo.

O setor empresarial brasileiro tem pouca tradição em investimento de pesquisa, ou de P&D, a começar pela baixa procura por cientistas e doutores (menos que 10% dos doutores estão em empresas), ao contrário dos países desenvolvidos (onde esse nível chega a 90%). Mesmo no mercado acadêmico, os doutores estão atuando principalmente nas universidades públicas, onde a atividade de pesquisa é reconhecidamente baixa. Por outro lado, é ainda mais trágico saber que tem sido comum a ocorrência de demissões de doutores em algumas universidades privadas, principalmente após terem conseguido o credenciamento oficial. Esse é um contra-fluxo óbvio, capaz de mudar o percurso desejado em termos de evolução ou inovação. Sem pessoal de alta qualificação nas universidades e empresas, como competir internacionalmente em áreas de inovação, como a nanotecnologia?

O imediatismo é outro grande problema que enfrentamos, tanto no governo como no setor empresarial. Estamos sempre em busca de soluções miraculosas, de rápida implementação e baixo custo, com pouco investimento instrumental e humano. E parece que não importa muito resguardar o que de bom existe. Parece parte da nossa cultura. É um outro contra-fluxo, que bloqueia o desenvolvimento, que só se faz a médio e longo prazo.

Receio ainda que a falta de cultura e conhecimento poderá ser o fator crítico no futuro da nanotecnologia, como já começa a ser em outras tecnologias inovadoras, principalmente na área biológica. Assim como já acontece na área de patentes, os profissionais que atuam nos órgãos de regulação não conseguem acompanhar o rápido desenvolvimento da tecnologia e ficam a mercê de regulamentos ultrapassados e inadequados para a nossa realidade.

Um exemplo dramático é o que estamos vivenciando no dia-a-dia em nosso laboratório. Mensalmente, todos nós devemos submeter relatórios sobre o estoque de reagentes em nosso laboratório, regulamentados por lei, para a Polícia Federal, por causa das questões das drogas. Essa regulamentação permite haver em estoque, por exemplo, 1 kg de hidróxido de sódio ou 1 litro de solução de hidróxido de sódio 1 M, e assim por diante. É notório que quem fez essa regulamentação não tem a menor noção dessa diferença. Regulamenta-se a química, sem saber de química! Em saúde, o níquel é considerado tóxico, cancerígeno, principalmente pelo fato de alguns de seus compostos terem essa propriedade. Porém, são alguns, não todos. Sem o níquel, as bactérias metanogênicas, essenciais para a conversão biológica do gás carbônico em metano no processamento de biomassa, não funcionariam. Quando importamos um fio de níquel de alta pureza, paradoxalmente, ele vem com uma orientação de cautela, acompanhado de páginas de informações técnicas. Toda a cautela é bem-vinda, entretanto, temos que esquecer que lidamos diariamente com moedas, artefatos niquelados e muitos objetos feitos de níquel, sem qualquer problema?

Tanta incoerência poderá barrar a aprovação dos produtos nanotecnológicos para consumo, pois trazem o prefixo nano, que é desconhecido e pode ser mal interpretado, se assim continuar sendo ventilado por algumas ONGs. Enquanto o uso de sais de prata está liberado no comércio, o das nanopartículas de prata ainda é assunto em discussão. Note-se que os sais ficam diretamente biodisponíveis em solução e podem interagir diretamente com as células e tecidos, razão pela qual são usados como bactericidas eficientes. As nanopartículas devem ser estabilizadas ou ancoradas em alguma superfície e, dessa forma, atuam de forma mais lenta e controlada. Isso significa menor atividade, porém mais prolongada e sem produzir picos de concentração, refletindo-se em segurança. O uso de nanopartículas de prata sempre esteve presente nos materiais fotográficos e nas paredes do antigo pote Salus, por meio do processo criado por Hottinger, no Brasil. Esses e tantos outros exemplos chamam nossa atenção para o aspecto educacional, para a qualidade de profissionais que estamos formando em todas as áreas e para a falta de valorização da ciência no Brasil.

**Anexo 2: Entrevista de Oswaldo Alves à autora desta dissertação, por e-mail, em 12/03/2007**

**1- Quando e como o senhor teve contato pela primeira vez com a nanotecnologia, mesmo que, na época, o termo nanotecnologia não fosse tão comum quanto é hoje?**

**Oswaldo Luiz Alves:** Nosso primeiro contato com esta área deu-se por volta de 1987, dentro do contexto de um projeto financiado pelo CPQD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento) da Telebrás e a Unicamp, visando ao desenvolvimento de materiais para telecomunicações e fotônica. A idéia, na época, era a obtenção de vidros dopados com nanocristais semicondutores da família II-VI, dentro da perspectiva de desenvolvimento de materiais com propriedades ópticas não-lineares, juntamente com os professores Luiz Carlos Barbosa e Carlos Lenz Cesar, ambos da Unicamp.

A primeira comunicação de resultados com tais sistemas foi feita no Brasil, no Congresso Brasileiro de Cerâmica, em 1990, com o título *Fase semicondutora  $CdTe_xS_{1-x}$  em vidros borossilicatos para dispositivos de comunicações por fibras ópticas*. Ainda no mesmo ano, foi apresentado, no congresso da American Ceramic Society, em Orlando, Estados Unidos, no simpósio Glasses for Electronic Devices, o trabalho *Preparation and characterization of borosilicate glasses containing the semiconductor phase  $CdTe_xS_{1-x}$* . Em 1991, participamos da Quantum Electronic and Laser Conference CLEO/QUELS-91 da Optical Society of America (Viena), onde foi apresentada a comunicação  *$CdTe_xS_{1-x}$  quantum box doped glass*. Nossa primeira publicação internacional na área (*full-paper*) foi feita no periódico *Ceramic Transactions* da American Ceramic Society, em 1991, com o título *Preparation and characterization of borosilicate glasses containing the semiconductor phase  $CdTe_xS_{1-x}$  for electronics*.

Em seguida, publicamos o trabalho que consideramos dos mais importantes. Explico por que importante. Tínhamos um grande conjunto de dados espectroscópicos que sugeriam a presença de nano ou microcristais nos vidros, caracterizados por deslocamentos de energia muito significativos (*red-shift*), quando dos tratamentos térmicos aos quais submetíamos nossas amostras. Todavia, esses efeitos também poderiam estar associados simplesmente a gradientes de concentração dos semicondutores na matriz vítrea.

A constatação experimental final veio com as medidas de microscopia eletrônica de transmissão (TEM), realizadas no Instituto de Química da Unicamp, com Fernando Galembeck, que nos permitiu, pela primeira vez, confirmar a presença de cristais semicondutores de tamanho nanométrico (5,5 nm), ou seja, os chamados *quantum dots*. O trabalho *Quantum size effects on the  $CdTe_xS_{1-x}$  semiconductor doped glass* foi publicado na conceituada revista *Applied Physics Letters*, volume 59, em 1991. Com a finalidade de divulgarmos para um público maior os resultados dessas pesquisas, publiquei o artigo de divulgação *Unicamp obtém nova família de vidros dopados*, na revista *Ciência Hoje* da SBPC, número 74, de 1992. Em 1993, depositamos no INPI a nossa primeira patente sobre esse assunto.

**2- Quando e como o senhor começou a trabalhar com nanotecnologia, mesmo que, na época, o termo nanotecnologia não fosse tão comum quanto é hoje?**

**Oswaldo Luiz Alves:** Da resposta anterior, fica claro que, para nós, nanotecnologia é uma temática, pelo menos do ponto de vista conceitual, onde não existe o antes e o depois. Vimos acompanhando o seu desenvolvimento e realizando pesquisas desde o início, ou seja, desde a fase anterior a 1987, quando tais estudos eram tratados como fazendo parte da grande área de sistemas mesoscópicos. Como mostrado, desde 1987, já faziam parte de nosso substrato teórico-experimental conceitos tais como nanopartículas, nanocristais, *quantum dots*, efeitos quânticos de tamanho, confinamento quântico de fônons e elétrons, *quantum-wells* etc, os quais são conceitos utilizados com grande frequência nos dias de hoje.

### 3- O que o motivou a trabalhar com nanotecnologia?

**Oswaldo Luiz Alves:** Nossa motivação inicial, como já colocado, estava dentro da perspectiva da óptica não-linear, ou seja, contextualizada para a perspectiva do desenvolvimento de materiais avançados para telecomunicações ópticas. Vale a pena nos determos um pouco mais sobre este ponto. No final dos anos 80 já havia a percepção, em nosso grupo de pesquisa, que para atingirmos altas taxas de transmissão através de fibras ópticas – e aqui estávamos falando de 100 Gbits/s –, seria necessário vencer vários desafios. Entre eles citaríamos: melhoria da qualidade das fibras (diminuição da atenuação óptica), tecnologia de fibras dopadas com terras raras (atualmente utilizadas em banda larga), produção de dispositivos fotônicos “all-light” (sem interconversão óptica/eletrônica/óptica), desenvolvimento de materiais com índices de refração não-lineares elevados, entre outros. Focalizamos nossa atenção neste último aspecto. Duas estratégias poderiam ser trabalhadas. A primeira seria tirar partido dos efeitos não-lineares de moléculas orgânicas ou organometálicas (efeito pull-push de elétrons) imobilizadas em matrizes poliméricas ou ciclodextrinas ( $\beta$  ou  $\gamma$ ), neste caso via a geração de segundo harmônico (SHG – Second Harmonic Generation). A outra possibilidade seria trabalhar com novas composições de vidros envolvendo elementos como Nb(V), Ti(IV), Ge(IV), Te(II), Bi(III) (íons com alta polarizabilidade) ou vidros dopados com semicondutores da família II-VI, obtendo materiais com elevados índices de refração não-linear com implicações na velocidade de “chaveamento óptico”. Nossa aposta recaiu sobre a segunda possibilidade por vários motivos. O primeiro porque já tínhamos uma importante experiência com vidros, pois trabalhávamos no Grupo de Fibras Ópticas da Unicamp, responsável pelo desenvolvimento da fibra óptica brasileira, desde meados dos anos 80. O segundo pelo fato de acreditarmos que seria bastante natural a “soldagem” vidro-vidro, envolvendo a fibra óptica e um eventual dispositivo fotônico que viesse a ser produzido. Bastava para isto compatibilizar os coeficientes de dilatação térmica dos dois vidros. Trabalhamos com as duas frentes relacionadas com os vidros. Contudo, foi com os vidros dopados com semicondutores, tratados na primeira resposta, que as “portas” para a nanotecnologia se abriram.

Sob pena de me alongar, acredito que seria importante fazer mais alguns comentários adicionais. A possibilidade de se obter materiais que pudessem ser utilizados em dispositivos fotônicos estava restrito a sua Figura de Mérito, ou seja: a FM era igual ao índice de refração não-linear ( $n_2$ ), dividido pelo produto do coeficiente de absorção ( $\epsilon$ ) pelo tempo de relaxação ( $\tau$ ). Assim, como o tempo de relaxação teria que ser no mínimo da ordem de picosegundos ( $10^{-12}$  s), a obtenção de materiais adequados dependeria da combinação: elevado índice de refração não-linear e baixa absorção na região de comprimento de onda onde atuavam os lasers de comunicação. Por outro lado, já se sabia que, quanto menor o tamanho das partículas (em relação ao raio de Bohr do exciton), maior seria o confinamento quântico e maior seria o índice de refração não linear ( $n_2$ ). Assim grande parte da pesquisa nesta época esteve voltada para a obtenção de nanopartículas ou quantum dots “embebidas” em vidros especiais com distribuição de tamanho controlada.

### 4- Antes do ano 2000, o senhor já tinha resultados em nanotecnologia? Quais os principais?

**Oswaldo Luiz Alves:** Sim, já tínhamos vários resultados. Entre eles poderíamos destacar: i) controle da produção de vidros dopados com *quantum-dots*; ii) conhecimento das propriedades ópticas destes sistemas em termos de seus índices de refração não-lineares; iii) observação de uma componente rápida na relaxação de vidros dopados com *quantum-dots* de CdTe com o valor de 150 femtosegundos (o que durante muito tempo foi o recorde para amostras transparentes); iv) entendimento de todo o processo de nucleação e crescimento dos *quantum-dots* nos vidros dopados estudados pela técnica de Small Angle X-Ray Scattering (SAXS) com radiação síncrotron *in situ* (estes experimentos pioneiros foram realizados no Síncrotron LURE, em Orsay, França, por uma equipe totalmente brasileira – 1994); v) obtenção de *quantum-dots* “casca-carço” (*shell-core*) nos sistemas CdTeS; e vi) observação de confinamento de fônons em *quantum-dots* de CdTe

embebidos em matrizes vítreas.

Ainda, antes de 2000, seria importante comentar alguns outros resultados que julgo interessantes. O primeiro foi a obtenção de polímeros condutores no interior de poros nanométricos do vidro poroso Vycor, publicado na revista *Advanced Materials* (1995). Neste trabalho, mostramos que a dimensão dos poros poderia evitar as reações de intercruzamento (*cross linking*) do polímero, com conseqüente produção de cadeias lineares, o que veio, mais tarde, ser chamado de *molecular polymeric wires*. Este resultado, passados alguns anos, nos traz uma certa frustração, pois tínhamos obtido – muito provavelmente pela primeira vez – nanofios de polímeros condutores e não realizamos a descrição morfológica completa do sistema. Nesta linha, obtivemos vários tipos de nanocompósitos envolvendo matrizes lamelares sintéticas e polímeros condutores.

O segundo tratou-se da obtenção de nanopartículas de RuO<sub>2</sub> com tamanho de 4,5 nm, graças ao colapso da estrutura porosa do vidro Vycor após a sua impregnação com Ru<sub>3</sub>(CO)<sub>12</sub>, seguido de tratamento térmico a altas temperaturas, publicado no *Journal of Materials Chemistry*, em 1999.

Ainda em 1999, obtivemos nanopartículas e nanofios de óxido de cobre no interior de nanotubos de carbono (CBCIMAT – 1999). Concluímos, também naquele ano, o estudo das contrações das distâncias interatômicas de nanopartículas de ouro (faixa de 2-4 nanômetros) passivadas por moléculas de tiol, utilizando a técnica de EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) com radiação síncrotron, juntamente com pesquisadores do LNLS. O referido trabalho foi publicado na revista *Chemical Physics Letters* de junho de 2000.

#### **5- Atualmente, quais são seus principais projetos em nanotecnologia?**

**Oswaldo Luiz Alves:** Nossos principais projetos em nanotecnologia são: i) química de nanoestruturas: funcionalização de nanopartículas metálicas e nanotubos de carbono; ii) desenvolvimento de óxidos mistos nanométricos de metais de transição (Ti, Zr) com morfologias não-usuais; iii) funcionalização de nanotubos de carbono com peptídeos BPPs e venenos de cobra: propriedades imunológicas; iv) preparação de MoS<sub>2</sub> nanoestruturado e seus nanocompósitos; v) síntese de MS<sub>2</sub> (M = Mo, W) nanoestruturados de alta pureza utilizando diferentes rotas de síntese; vi) obtenção de nanopartículas de prata via métodos biotecnológicos e sua aplicação na área de produtos têxteis e papel; vii) desenvolvimento de nanocompósitos polímeros/argilas naturais e sintéticas; viii) sistemas de *drug release* de fármacos baseados em nanopartículas de ouro funcionalizadas; ix) agregação de valor, via nanotecnologia, a minérios/minerais brasileiros negligenciados.

#### **6- Sobretudo a partir de 2001, o MCT começou a fomentar a nanotecnologia por meio de ações específicas. O seu trabalho com nanotecnologia se beneficiou dessas ações? Como?**

**Oswaldo Luiz Alves:** Efetivamente, por meio do Projeto Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IM<sup>2</sup>C), sediado em Campinas. Com ele, foi possível consolidar uma importante estrutura de facilidades experimentais para a realização de projetos em nanotecnologia, baseada em microscópios eletrônicos, tomógrafo de raios-X, equipamentos para espectroscopia Raman, FTIR e medidas térmicas, microfluorímetro, entre outros. Contamos também com recursos expressivos da Fapesp.

#### **7- Existe uma tendência de os pesquisadores que trabalham com nanotecnologia se organizarem em rede. De qual ou de quais redes o senhor faz ou fez parte? Como o senhor avalia o trabalho em rede?**

**Oswaldo Luiz Alves:** O Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp, do qual sou o coordenador científico, pertence às seguintes redes ou Institutos do Milênio (incluí os Institutos do Milênio pelo fato de serem também estruturas onde se realizam pesquisas cooperativas em nanotecnologia): i) Instituto do Milênio de Materiais Complexos (Fase II); ii) Rede Nacional de Pesquisas em Nanotubos de Carbono; iii) Renami – Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces; iv) Namitec – Rede de Tecnologias de Micro e

Nanoeletrônica para Sistemas Integrados Inteligentes.

Em nosso caso, o trabalho em rede tem sido bastante interessante, sobretudo porque trabalhamos com várias delas, dada a variedade das temáticas que estudamos. Tem havido muita sinergia em nossas interações com os diferentes grupos das diferentes redes. Por outro lado, do ponto de vista geral, ainda existem dificuldades nas atividades em rede, sobretudo porque este é um tipo de organização da pesquisa que pressupõe uma forte vontade de interagir com outros grupos e de efetivamente trabalhar dentro de uma perspectiva multidisciplinar. Resumindo, as pessoas pertencem há várias disciplinas, mas são ainda poucos os projetos efetivamente multidisciplinares. De qualquer maneira, as redes têm propiciado muito auto-conhecimento, identificação de competências e utilização compartilhada de instrumentos de grande porte. Ainda há muito por aprender e fazer neste tipo de organização da pesquisa.

**8- O seu trabalho com nanotecnologia está, de alguma forma, ligado à iniciativa privada? Já colocou algum produto no mercado ou existe essa possibilidade?**

**Oswaldo Luiz Alves:** Sim, temos projetos ligados com indústrias, os quais não foram citados na pergunta 5. Não podemos, devido à vigência de protocolos de confidencialidade, declinar as empresas com as quais mantemos relacionamento. Não colocamos nenhum produto no mercado, contudo temos em nosso portfólio 15 patentes, das quais seis estão relacionados diretamente com nanotecnologia.

**9- Como o senhor avalia o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil? Quais são, na sua opinião, os principais méritos, dificuldades e potenciais?**

**Oswaldo Luiz Alves:** Esta pergunta tem sido recorrente nas minhas entrevistas. Minha resposta tem sido que temos um número importante de pesquisadores, em todos os estágios da carreira docente, atuando nos mais diferentes aspectos da nanotecnologia. As principais universidades do país estão com pesquisas importantes sendo realizadas e temos um parque industrial bastante competente. O destaque aqui fica para as atividades em nanobiotecnologia e materiais nanoestruturados (nanopartículas, nanocompósitos e nanotubos de carbono). Tais atividades acompanham a tendência mundial da área. Graças a recentes investimentos, já contamos com várias facilidades focalizadas para a nanotecnologia, principalmente na região de Campinas, no interior do Estado de São Paulo.

A relação entre o setor produtivo e a academia tem melhorado bastante nos últimos anos. É importante enfatizar que temos bons instrumentos para vencermos as dificuldades deste relacionamento. Uma melhor articulação passa pelo diálogo constante entre as partes envolvidas. Muitas universidades brasileiras estão se aparelhando para exercer este papel no qual – não podemos esquecer – têm relevância as questões ligadas à propriedade intelectual e à cultura de patentes.

Não obstante a nanotecnologia ter sido colocada na Política Industrial como uma das tecnologias portadoras de futuro, observamos uma certa lentidão, por parte dos órgãos governamentais, nas tomadas de decisões e na vontade expressa de fazer com que ela ocupe o *status* que tem no documento de Política Industrial. Podemos e, sobretudo, devemos ser mais céleres.

Outro aspecto que gostaríamos de enfatizar é que não podemos perder de vista que a nanotecnologia pode também ser uma oportunidade singular para o desenvolvimento do país. A nanotecnologia pode auxiliar na solução de problemas que afetam diretamente nossos cidadãos: remediação ambiental, purificação de água, remoção dos contaminantes, melhoria e fertilidade dos solos, construção de *kits* de diagnóstico para doenças infecciosas e endêmicas, novas formulações de medicamentos e veículos para sua liberação, novas formas de energia, entre outros.