

A nanotecnologia como tecnociência: contribuições da abordagem sociológica para o entendimento das relações entre nanotecnologia, sociedade e ambiente

Marcos Antônio Mattedi¹

Paulo R. Martins²

Adriano Premebida³

Resumo: Com base nos recursos analíticos extraídos da aplicação da abordagem sociológica na ciência e na tecnologia, o texto apresenta ideias e fatos de que a nanotecnologia é um tema tecnocientífico em estágio de negociação. Por isso argumentamos que existem duas tendências principais no debate entre nanotecnologia, sociedade e ambiente. A primeira tendência é relativa a um conjunto de atores que pretendem fechar as controvérsias e, a outra, é formada por um grupo articulado de atores que procura mantê-las abertas em relação às suas interações técnicas com a sociedade e a natureza. Para desenvolver este raciocínio o texto foi dividido em três partes principais: i) inicia com uma contextualização das reações que a nanotecnologia vem despertando junto à opinião pública e a sua relevância para a análise sociológica; ii) em seguida ocupa-se em apresentar estratégias de abordagem sociológica da relação entre contexto social e ciência/tecnologia; e, iii) finaliza, estendendo estas interpretações para o estudo das nanotecnologias.

Palavras-chave: Nanotecnologia; sociologia da ciência; tecnociência; controvérsias; sociedade e ambiente.

Nanotechnology as Technoscience: Contributions of Sociological Approach to the Understanding of the Relationship between Nanotechnology, Society and the Environment

¹ Doutor em Ciências Sociais pela UNICAMP e professor do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Regional de Blumenau.

² Doutor em Ciências Sociais pela UNICAMP e pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT.

³ Doutor em Sociologia pela UFRGS, pesquisador e diretor técnico-científico da FDB. E-mail: premebida@fdb.org.br

Abstract: In accordance with the analytical resources extracted from the application of the sociological approach in science and technology, this text presents ideas and facts which demonstrate that nanotechnology is a technoscientific theme in a stage of negotiation. For this reason, we consider the existence of two main tendencies in the debate including nanotechnology, society and the environment: the first is related to a set of social actors who intend to deny the controversies and the second one is formed by an articulated group of actors who fight for keeping the controversies lit up and call to mind the interactions between nanotechnology, nature and society. To develop this argument, the text has been divided into three main parts: I) the context in which the reactions to nanotechnology have been appearing in the public opinion and its relevance to the sociological analysis; II) the presentation of the strategies of the sociological approach to the relations between the social context and science/technology; and III) the application of these interpretations to study of nanotechnologies.

Keywords: Nanotechnology; sociology of science; technoscience; controversies; society and environment.

Introdução: a relevância sociológica da nanotecnologia

A nanotecnologia costuma ser descrita como o resultado da capacidade de intervenção científica e tecnológica nas propriedades da matéria em dimensões nanométricas⁴. Seu interesse recente, nos últimos trinta anos, principalmente nos aspectos de divulgação científica, está relacionado à disseminação dos trabalhos pioneiros desenvolvidos por Richard Feynman (1918-1988) e Eric Drexler (1955), que intuíram a possibilidade da manipulação controlada de átomos individualmente e suas inusitadas consequências para a produção industrial (FEYMAN, 1959; DREXLER, 1992). Com o desenvolvimento dos chamados microscópios de varredura por sonda no início da década de oitenta, entre os quais se destacam o microscópio de tunelamento e microscópio de força atômica, observa-se uma ampliação do domínio científico e tecnológico na escala nanométrica. Desde então, o resultado tem sido a produção de nanoestruturas sempre mais complexas, tanto pela redução das dimensões existentes, como pela formação de novos arranjos moleculares, com a finalidade de criar efeitos físicos, químicos e biológicos aplicáveis em múltiplas atividades tecnológicas e industriais. Se em um período inicial essas manipulações e análises dos efeitos quânticos da matéria em escala nanométrica davam-se através de pesquisas científicas em ambientes laboratoriais, agora já há condições técnicas e de mercado para um salto, em nível de manufatura de várias classes de moléculas e produtos baseados na escala nanoscópica, em um plano industrial. Este processo gera classes inteiramente novas de

⁴ Um nanômetro corresponde à bilionésima parte de um metro (0,000000001m) e é representado pela unidade nm.

dispositivos e sistemas micro e nanofabricados, possibilitando, portanto, o desenvolvimento de produtos e processos industriais inovadores em diversas áreas como a farmacêutica, a de armamentos, eletrônica, engenharia de materiais e óptica.

Este potencial vem convertendo a nanotecnologia em um dos principais vetores de desenvolvimento das atividades de pesquisa e inovação tecnológica nos países industrializados. Para a área, o ano de 2005 foi emblemático, pois os investimentos diretos em Pesquisa e Desenvolvimento atingiram a casa de 9,6 bilhões de dólares (LUX RESEARCH, 2006) e, pela primeira vez, o emprego de recursos corporativos ou privados ultrapassou os investimentos governamentais. Isto indicou, na época, a tendência das inovações nanotecnológicas aproximarem-se rapidamente das prateleiras comerciais e dos consumidores. Aliás, muitos produtos já estão no mercado. Além disso, é preciso ressaltar que a incorporação da nanotecnologia em bens foi avaliada em 693 bilhões de dólares até o final de 2012 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2010, p. 30) e que as estimativas relativas ao mercado de produtos e processos associados à nanotecnologia, até 2015, devem ultrapassar a cifra de um trilhão de dólares⁵ (CIENTIFICA 2008).

Paralelamente, destaca-se o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia como um ponto de inflexão em termos cognitivos e organizacionais, como estruturação de linhas de pesquisa, criação de editais, formação de quadros, demarcação de fronteiras de áreas do conhecimento. As nanotecnologias e a nanociência mobilizam conhecimentos gerados em disciplinas tão diversas como a química, bioquímica, engenharia elétrica, biologia molecular e a física, desdobrando e conjugando-se em áreas de vertente mais aplicada, como spintrônica, fotônica, eletrônica molecular, computação quântica, engenharia de proteínas, entre outras. A aceleração nos últimos anos e o ritmo na atração de investimentos nesse ramo do conhecimento – graças, em parte, aos financiamentos públicos – constitui o resultado das promessas em inovação e das potenciais descobertas científicas e tecnológicas. Os efeitos mais evidentes da combinação destes fatores dizem respeito à submissão da própria nanotecnologia a um crescente processo de concepção de áreas do conhecimento que vêm dissolvendo as clivagens clássicas entre pesquisa básica e pesquisa aplicada, na medida em que a nanotecnologia não se limita somente a questionar como os átomos, moléculas ou as

⁵ Estas estimativas podem variar bastante, dependendo de pressupostos, definição do mercado de produtos e serviços e métodos de análise da pesquisa sobre a dimensão comercial das nanotecnologias e aplicações decorrentes.

proteínas se comportam, mas como estabelecer modelos para que esse comportamento seja previsível e, sobretudo, manipulável.

Para muitos, portanto, as nanotecnologias parecem proporcionar a base definitiva para o estabelecimento da integração no nível atômico/molecular dos desenvolvimentos alcançados na física, química, biologia e outras disciplinas científicas e tecnológicas. É preciso, então, ressaltar que o desenvolvimento da nanotecnologia não está isolado, mas encontra-se imerso em um conjunto mais amplo de desenvolvimento tecnológico, relacionado a processos de convergência como, por exemplo, a integração entre nanotecnologia, biotecnologia, tecnologias da informação e ciências da cognição – NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno) (ROCO; BAINBRIDGE, 2002). Esta operação de integração e aproximação de conhecimentos e técnicas amplia, assim, o potencial de cada tecnologia, tornando a mediação interdisciplinar crucial para o sucesso da pesquisa em nanoescala (SCHUMMER, 2004).

Analicamente, costumam-se diferenciar duas classes de nanotecnologias. A primeira categoria é ligada ao desenvolvimento de nanomateriais – tais como polímeros para tecidos, cerâmicas ultra-resistentes, membranas ultrafinas – a partir de tecnologias que manipulam as substâncias em escala nanoscópica por meio de pesquisas desenvolvidas, principalmente, em um leque de áreas como engenharia química e ciências dos materiais. A segunda categoria é relacionada ao desenvolvimento de nanodispositivos por meio da agenda de pesquisa da engenharia mecânica, eletrônica e robótica, principalmente. Esta distinção, em termos analíticos e de categorização, pode ser importante, porque nos permite diferenciar e, portanto, estimar com maior precisão, a magnitude dos impactos sociais e ambientais destas tecnologias (SUCHMAN, 2002) e verificar as tendências de incremento e rupturas tecnológicas. Contudo, as fronteiras entre estas “duas variedades” de nanotecnologias não são muito bem demarcadas e são discutíveis do ponto de vista dos resultados concretos de inovação e da dinâmica científica de trabalho em redes multidisciplinares.

Enquanto o desenvolvimento de nanomateriais possibilita a produção de novos produtos com potencial para transformar profundamente uma área particular da vida social, esta inovação, do ponto de vista técnico, pode representar uma descontinuidade “relativamente familiar”. Não obstante esta familiaridade, as implicações relacionadas à dispersão ambiental e toxicidade dos artefatos nanotecnológicos colocam questões éticas, ambientais, regulatórias e trabalhistas muito mais agudas e complexas do que as resultantes de tecnologias tradicionais, já consolidadas ao longo de trajetórias de controvérsias e ajustes regulatórios.

Apesar da maior parte dos experimentos e produtos ainda estar em fase de testes, as nanotecnologias já contam com ampla penetração na mídia. Como sempre ocorre no início da comercialização de uma nova tecnologia é muito difícil distinguir os efeitos reais da mera propaganda⁶ e das discussões fortemente engajadas do ponto de vista político. No que se refere especificamente às interpretações dos potenciais impactos ambientais e sociais, é possível diferenciar duas ordens predominantes de discursos. Por um lado, encontra-se uma interpretação que enfatiza o lado positivo do desenvolvimento nanotecnológico, definida como “nanooptimista”, na qual se destacam as possíveis aplicações, e suas benesses, em ramos tão diversos como o farmacêutico, eletrônico, biotecnológico, entre outros (COMISSÃO EUROPÉIA, 2004). Este tipo de relato desdobra-se, em termos de relevância argumentativa, sobre a eficácia técnica e a questão ambiental, e pode ser ilustrado pela tentativa de utilização de nanopartículas para remover contaminantes nas situações em que os processos convencionais não são eficazes como, por exemplo, no emprego de resinas magnéticas para suprimir metais em um meio aquoso, o que representaria um dispositivo fundamental no tratamento de efluentes. Por outro lado, encontra-se uma interpretação que enfatiza os riscos inerentes ao desenvolvimento da nanotecnologia para a saúde humana e a natureza (RYMAN-RASMUSSEN; RIVIERE; MONTEIRO-RIVIERE, 2006) e que pode ser caracterizada como “nanopessimista” (ETC GROUP, 2004a; 2004b). Independente das colorações conferidas aos cenários, as investigações na área da nanociência e da nanotecnologia têm avançado e é necessário integrar linhas de investigação com as ciências humanas, para detectar quais serão seus potenciais impactos socioeconômicos e socioambientais.

Para além dos efeitos pontuais que as inovações tecnológicas podem produzir, o interesse do estudo do desenvolvimento da nanotecnologia, do ponto de vista das ciências sociais e da sociologia, em particular, parece concentrar-se nos seus efeitos políticos e sociais; mais precisamente, trata-se de examinar que tipo de sociedade começa emergir da definição desta opção tecnológica. Devido ao seu caráter deliberadamente controverso, a nanotecnologia vem mobilizando não somente o interesse de laboratórios e pesquisadores, mas também de empresários, agências governamentais, trabalhadores, consumidores e ambientalistas. Esta preocupação e o interesse crescente decorrem, é

⁶ Para ilustrar este ponto de vista basta lembrar que, em um levantamento *online* sobre a bibliografia acerca da ficção científica em nanotecnologia, entre 1980 e 2003, identificou-se 189 livros, somente em inglês – <http://www.geocities.com/asnapier/nano/n-sf/books.html>.

claro, do fato de que todas as opções tecnológicas acabam produzindo situações irreversíveis pelo desaparecimento gradual das margens de escolha. Portanto, o desafio relacionado à tecnologia parece estar, por um lado, em assegurar que todos os atores envolvidos, inclusive os não-especialistas e com menor acesso à tomada de decisões sociotécnicas (ambientalistas, trabalhadores e defensores de direitos difusos), sejam apropriadamente ouvidos durante as discussões sobre as escolhas técnicas específicas à nanotecnologia, bem como evitar que a incorporação de determinado artefato técnico crie situações sem possibilidade de retorno e controle, principalmente pela exclusão de outras opções tecnológicas. Isto significa que a nanotecnologia, por um razoável período de tempo, se constituirá em tema e agenda de disputas, em função do estado de forças e acordos entre os atores envolvidos no processo de decisão de efetivação de determinados processos sociotécnicos. Ou seja, da convergência ou divergência dos pontos de vista dos participantes das controvérsias e negociações.

Os avanços científicos e tecnológicos relacionados ao desenvolvimento da nanotecnologia são significativos e os potenciais industriais estimulantes, mas as relações entre a nanotecnologia, a sociedade e o ambiente ainda são pouco compreendidas. A maior parte das caracterizações disponíveis concebe as relações entre ciência, tecnologia e sociedade de forma unilinear e genérica. O conjunto de informações acumuladas, nacional e internacionalmente, nos últimos anos, nas pesquisas realizadas em sociologia ambiental e do conhecimento científico (MARTINS, 2006), tem mostrado, contudo, que a produção do conhecimento científico e a dinâmica de inovação tecnológica são eminentemente multilíneas e, conseqüentemente, os resultados sempre mais ambivalentes, na medida em que as opções tecnológicas não refletem unicamente opções de ordem técnicas, mas também a distribuição de papéis entre os atores sociais envolvidos (BIJKER; HUGHES; PINCH, 1997 e CALLON, 2006). O desenvolvimento da nanotecnologia não se restringe somente a cientistas e engenheiros, mas é um processo “negociado”, ou melhor, “pactuado” com outros atores como, por exemplo, empresários, consumidores, sindicalistas, trabalhadores, gestores públicos e ambientalistas, em uma longa série de sucessivas aproximações dos interesses envolvidos. Se a adoção de uma nova tecnologia impacta a malha social e as interações entre seus membros, o desenvolvimento da nanotecnologia constitui uma questão política e, portanto, deve estar aberta ao exame das ciências sociais. Afinal, não devemos nos esquecer que “os processos de pesquisa científica e de inovação tecnológica sempre foram carregados de política, os engenheiros e os tecnólogos envolvidos na inovação têm visões especí-

ficas de uma sociedade futura com implicações políticas grandes” (GOULD, 2005, p. 245).

No que diz respeito ao desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, verifica-se a existência de um lastro considerável de competências e infraestruturas de pesquisa sinalizadoras da sintonia da comunidade científica nacional com as estratégias de desenvolvimento desta tecnologia em nível internacional, o que coloca em evidência tanto os investimentos públicos como o processo de capacitação de recursos humanos. Os efeitos deste processo sobre a organização produtiva e industrial da sociedade brasileira em geral, e da comunidade científica em particular, não devem ser subestimados, na medida em que a curto prazo a disseminação dessa nova tecnologia poderá redefinir as relações entre a ciência, a sociedade e a natureza. Em relação, especificamente, aos responsáveis pela formulação e implementação de políticas científicas e tecnológicas em nível nacional (MARTINS; PREMEBIDA; DULLEY; BRAGA, 2007), o desenvolvimento recente da nanotecnologia abre um horizonte de possibilidades, com reais perspectivas de inovação e, portanto, um importante insumo para inúmeros setores industriais e de serviços tecnológicos. Entretanto, deverá provocar importantes impactos sociais e ambientais nas atividades produtivas, com potencial de gerar – dependendo do arranjo da rede de actantes/atores envolvidos nos acordos de difusão deste conjunto de tecnologias – controvérsias muito mais intensas do que as relacionadas à biotecnologia, por exemplo.

Muito embora saibamos que os impactos sociais e ambientais associados a uma inovação tecnológica mesclam-se às discussões e acordos que ela levanta, o conjunto de informações sobre estas relações é ainda precário do ponto de vista sociológico. Parece interessante, nesse sentido, considerar não somente os impactos que o desenvolvimento da nanotecnologia poderá provocar sobre o ambiente e a sociedade, mas também os impactos que a própria sociedade provocará no desenvolvimento da nanotecnologia. O desenvolvimento tecnológico não é uma via de mão única. Ao mesmo tempo em que esta ação de desenvolvimento exprime as diversas formas de engajamento dos atores mobilizados pelo tema, a concepção e adoção de sistemas técnicos, engendrada por estes mesmos atores, e difundida a outros campos e interesses sociais, redefine as identidades e estratégias dos mesmos. Com isso procuramos enfatizar que o desenvolvimento da nanotecnologia reflete não somente imutáveis princípios físicos, mas também interesses sociais contingentes. Trata-se, é claro, de um processo de coconstrução: ao mesmo tempo em que o desenvolvimento tecnológico acarreta em significativa mudança social, a sociedade condiciona o

desenvolvimento tecnológico. Portanto, considerando-se, por um lado, a necessidade de subsidiar o debate sobre a nanotecnologia no Brasil e, por outro, o caráter incipiente das informações acumuladas na sociologia sobre a nanotecnologia, a realização da pesquisa social sobre o seu desenvolvimento fundamenta-se em duas ordens de considerações: relevância prática e relevância teórica.

Assim, no momento em que o conhecimento científico e tecnológico converte-se em um dos fatores determinantes da dinâmica de desenvolvimento das sociedades modernas, as representações do processo de produção e aplicação da ciência, presentes no meio acadêmico e na opinião pública, ainda descrevem a concepção e adoção da nanotecnologia como um processo unilinear. Nesta visão a ciência e a tecnologia são descritas como formas autônomas de conhecimento e a gestão da mudança científico-tecnológica deixada a cargo somente dos próprios especialistas. Em nosso ponto de vista, é preciso abrir a agenda de discussão sobre participação e adoção de tecnologias em geral, e da nanotecnologia em particular, estimulando o engajamento de atores especializados como pesquisadores, empresários e poder público, mas também outros atores da sociedade civil, como ambientalistas, sindicatos, associação de consumidores. Através da entrada de múltiplos atores no processo de formulação (concepção) e implantação (adoção) de uma política nanotecnológica no Brasil, algumas questões precisam ser problematizadas:

- a) O papel dos atores não-especialistas no desenvolvimento da nanotecnologia;
- b) A importância da avaliação e regulamentação dos riscos associados à nanotecnologia;
- c) O progressivo aumento de informações e os aspectos éticos relacionados à interface entre humano-natureza-máquina.

Ciência e tecnologia como tecnociência

A preocupação com a ciência, a tecnologia e a inovação vem assumindo uma importância crescente nos países industrializados. Esta preocupação exprime-se na constatação de que a mudança tecnológica constitui a base do desenvolvimento econômico, na medida em que a produção do conhecimento e a inovação compreendem o principal fator agregador de valor a produtos, processos e serviços. O indicador mais evidente deste fenômeno constitui o aumento progressivo dos

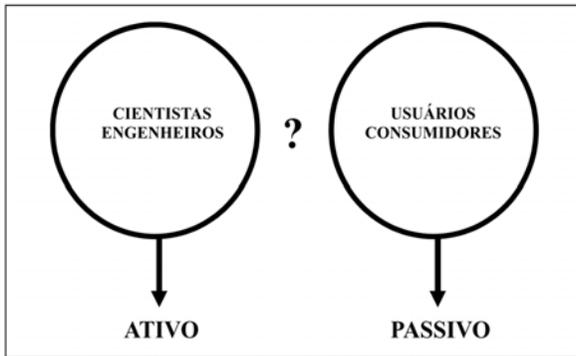
investimentos nesta área nas últimas décadas, no crescente processo de complexificação do perfil das políticas de fomento no setor, mas, sobretudo, na importância que as agências internacionais têm dedicado à questão, tal como visto no Relatório do Banco Mundial, *O Conhecimento a Serviço do Desenvolvimento*; o Relatório de Desenvolvimento Humano no PNUD, *Colocar o Avanço Tecnológico a Serviço do Desenvolvimento Humano*; e a *Declaração Sobre a Ciência e o Uso do Saber Científico*, elaborada na Conferência Mundial sobre a Ciência para o Século XXI. Nesse sentido, a conversão da tecnociência em um fator produtivo possui pelo menos dois significados principais, tendo em vista a compreensão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Por um lado, a indústria converte-se em um setor produtor de ciência e tecnologia, orientando cada vez mais a pesquisa universitária; e, por outro, a ciência converte-se em um insumo industrial com a tendência da comercialização do conhecimento (GIBBONS, 2006)⁷. Considerando estes fatores, a abordagem sociológica da nanotecnologia, e de suas relações com a sociedade e o ambiente, inicia-se pela problematização de duas armadilhas conceituais muito comuns no estudo do conhecimento científico em seu contexto de aplicação.

A primeira armadilha, que é preciso contornar para abordarmos a relação entre ciência/tecnologia e a sociedade, constitui a separação entre ciência e tecnologia. Frequentemente encontramos registrada nos manuais de iniciação científica – e reproduzida em salas de aula e institucionalizado nos comitês científicos – uma separação entre a ciência e a tecnologia; mais precisamente, de um lado, o âmbito superior da ciência dedicada à busca do conhecimento e, de outro, o âmbito inferior, ligado à aplicação do conhecimento: ciência = (AQUISIÇÃO + CONCEPÇÃO); tecnologia = (APLICAÇÃO + ADOÇÃO). Nesta caracterização, o conceito de ciência define-se por oposição ao de tecnologia pelas funções que desempenha: a atividade científica volta-se para a produção de conhecimento teórico e a atividade tecnológica limita-se à aplicação do conhecimento. A expressão política desta distinção estabelece que a gestão da mudança científica deve ser deixada nas mãos dos próprios especialistas, pois a ciência constitui uma atividade distinta das demais. Nos últimos anos, contudo, um número crescente de estudos tem revelado o caráter eminentemente social da atividade científica e, desta forma, permite verificar que não existe uma fronteira muito nítida entre ciência e tecnologia (MATTEDI, 2006;

⁷ Embora tenhamos que ter certa cautela em relação à posição de Michael Gibbons. Muitas de suas conjecturas sobre a mudança da dinâmica das relações entre indústria e ciência, pesquisa básica e aplicada, não se confirmam empiricamente.

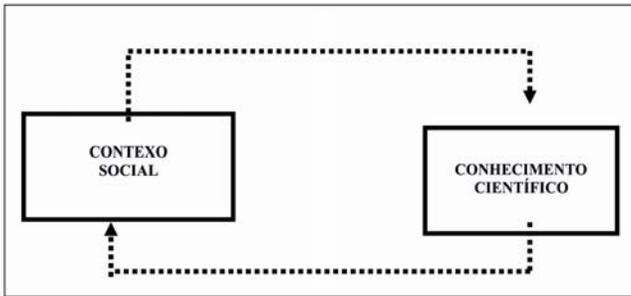
HESS, 1997). Na prática não existe uma demarcação muito clara entre estes dois processos, porque a ciência contemporânea orienta-se, cada vez mais, para fomentar o desenvolvimento tecnológico, gerando um processo de retroalimentação positiva entre os dois processos (FLICHY, 2003). Afinal, a relação entre a invenção e a aplicação não constitui um processo unilinear: + CIÊNCIA BÁSICA = + CIÊNCIA APLICADA = + TECNOLOGIA = + INOVAÇÃO = + PRODUTOS = + DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO = + QUALIDADE DE VIDA. Os resultados da problematização das relações entre ciência, tecnologia e sociedade têm mostrado, ao contrário, que o processo entre concepção e adoção é multilinear, e por isso é necessário substituir esta clivagem e empregar, simplesmente, a noção de *tecnociência*. A noção de tecnociência será entendida, então, como a fusão da ciência, tecnologia, indústria e os sistemas econômico/financeiros que financiam este complexo de relações. É uma forma de justapor a indissociabilidade prática entre a produção científica e tecnológica. O termo é tido como cunhado pelo filósofo belga Gilbert Hottois, no final da década de 1970, e muito difundido, nos últimos anos, pelos trabalhos de Bruno Latour sobre a produção do conhecimento científico e tecnológico. O antepositivo tecnoreforça a ideia de que mais que um sistema de teorias a ciência – graças a um conjunto de técnicas e equipamentos utilizados em nível experimental – é uma prática de intervenção sobre o mundo.

Ocorre que a aplicação do conceito de tecnociência não nos permite somente a integração da ciência e da tecnologia, ele nos possibilita também evitar um segundo tipo de armadilha metodológica, que consiste em separar a ciência e a tecnologia de seu contexto social. Costumeiramente a ciência e a tecnologia são descritas como atividades independentes da sociedade. Por exemplo, existem caracterizações que descrevem a ciência como uma variável independente, o que gera aquele pavor típico da tecnologia associado a algumas inovações em biotecnologia (produtos transgênicos) e agora também à nanotecnologia: + científico = - humana, por outro lado, muitas vezes nos deparamos com representações inversas que tratam a ciência e a tecnologia como variáveis dependentes e a sociedade como uma variável independente, gerando a suspeita característica dos manuais de pesquisa: + social = - objetivo. Isso resulta nas representações dos cientistas e especialistas como atores ativos e os consumidores como passivos nas discussões sobre escolhas sociotécnicas.

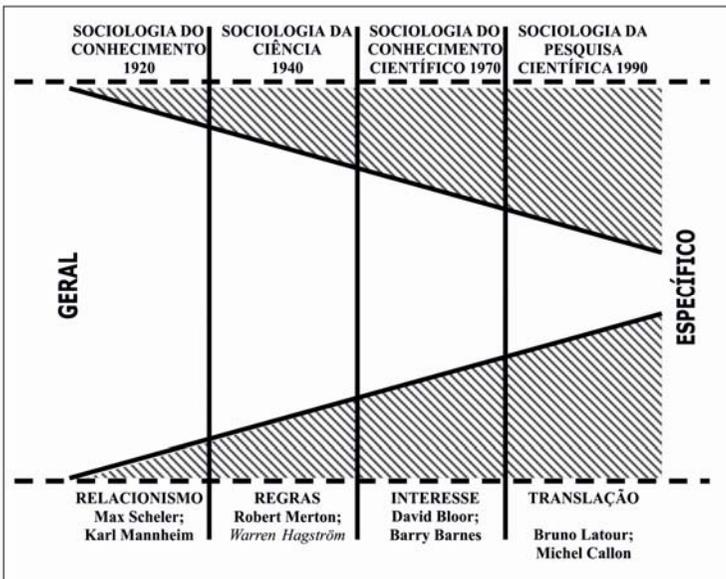


Depois de mais de vinte anos de estudos sociais da ciência e da tecnologia (MATTEDI, 2006) e (COLLINS; EVANS, 2002), sabemos que, as relações que unem a ciência e a sociedade são caracterizadas por uma relação de “coconstrução”: ao mesmo tempo em que um contexto social específico (pesquisadores, empresários, consumidores, equipamentos, poder público, regulamentações, laboratórios, teorias, etc.) possibilita a emergência de um aparato técnico-científico, este aparato redefine a identidade destes atores, recursivamente. Nesse sentido, podemos dizer que a abordagem sociológica da nanotecnologia baseia-se na problematização das relações entre conhecimento científico e tecnológico e seu contexto social de produção.

Desse ponto de vista, as relações firmadas entre o contexto social e o conhecimento estão cimentadas institucionalmente, como por exemplo, em laboratórios, grupos de pesquisa, revistas, editais de pesquisa, parcerias interinstitucionais e modernos modelos de gestão. Estas são condições sociais mínimas para que os cientistas e equipes de pesquisa e desenvolvimento possam criar, organizar, transmitir e difundir o conhecimento científico e tecnológico. Trata-se de determinar, por um lado, que condições sociais são necessárias para o aparecimento da nanotecnologia em um determinado contexto social; e, por outro, os efeitos que este tipo de conhecimento provoca no contexto social.



Esta relação pode ser configurada de diversos pontos de vista (auterais e teóricos) como, por exemplo, a sociologia do conhecimento (Karl Mannheim), a sociologia da ciência (Robert K. Merton), a sociologia do conhecimento científico (Barry Barnes, David Bloor) e a sociologia da pesquisa científica (Bruno Latour e Michel Callon).



As estratégias analíticas que ligam a passagem da sociologia da ciência para a sociologia do conhecimento científico até a sociologia da pesquisa científica exprimem um movimento analítico que se caracteriza por uma aproximação crescente até a indiferenciação das rela-

ções entre o contexto social e conhecimento. Isto indica que na medida em que a abordagem sociológica aproxima-se de como o conhecimento científico é produzido efetivamente, dissolve-se a ideia da separação entre contexto social e conhecimento científico.

A abordagem da nanotecnologia como tecnociência pode basear-se na *Actor-Network Theory* – Teoria do Ator-rede, desenvolvida a partir da conjunção dos trabalhos sobre a ciência e a tecnologia e encabeçada por Michel Callon e Bruno Latour no *Centre de Sociologie de L'Innovation* da **École Nationale Supérieure des Mines de Paris** – CSI/ESMP. Como ponto de partida, a noção de ator-rede nos permite acompanhar como são formadas as decisões de um conjunto de atores confrontados com a necessidade de fazer opções tecnológicas. Um ator-rede constitui qualquer entidade individual ou coletiva que participa das negociações sociotécnicas e contribui para atingir um acordo, e pode ser descrito em termos de sua própria visão do objeto técnico ou da tecnologia que será posta em circulação: os pesquisadores podem dar maior importância para a publicação, um técnico governamental para a aplicação dos recursos, um empresário ao grau de confiança/eficiência dos dispositivos, os consumidores aos riscos e segurança dos artefatos técnicos. Isso significa que os atores e as técnicas tendem a evoluir conjuntamente no processo de negociação.

A confecção da lista de atores depende dos procedimentos e estruturas organizacionais que determinam a direção que as negociações a respeito das técnicas devem tomar, podendo variar desde simples vínculos bilaterais, até interações multilaterais em permanente movimento. Cada ator se posiciona na rede segundo sua força no processo de negociação e com base em uma representação da própria rede, o que traz, como consequência, uma definição identitária de todos os atores e componentes que a rede congrega ou conecta. O grau de convergência ou divergência de ideias é o resultado de um processo relacionado à dinâmica de acordos ou desacordos dos atores envolvidos na negociação. Neste sentido, basta mudar a lista de atores autorizados a negociar a ordem e a morfologia das intervenções na rede para que outras tecnologias sejam desenvolvidas.

Portanto, um ator-rede é concebido simultaneamente como um *ator* que entrelaça elementos heterogêneos e uma *rede* capaz de redefinir os elementos que a integram, por meio de duas estratégias: simplificação (redução da complexidade) e justaposição (contextualização das entidades). Isto significa que as simplificações somente são possíveis se os elementos se justapõem em uma rede de relações, porém, inversamente, a justaposição de elementos requer que sejam simplificados. A

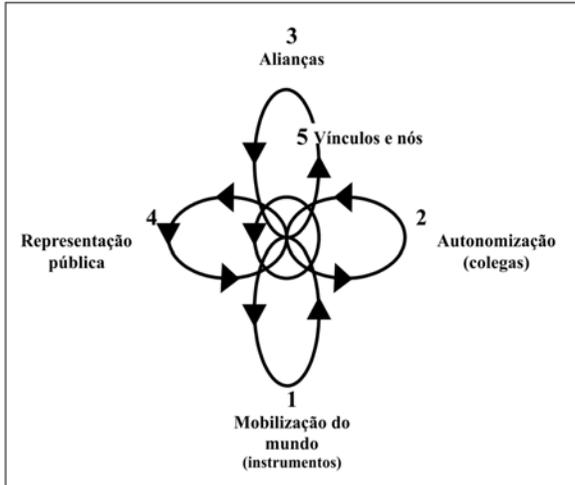
utilização da noção de ator-rede para a caracterização da nanotecnologia permite designar tanto o conjunto heterogêneo de elementos recrutados e suas interações, como a capacidade dinâmica deste conjunto se transformar pela força dos elementos que o constituem. Ou seja, a noção ator-rede ajuda a entender como os atores simplificam, justapõem e mantêm unidos seus elementos constituintes.

Este processo pode ser ilustrado de muitas maneiras, mas talvez uma das formas mais emblemáticas, pela sua consolidação histórica, seja o caso de Louis Pasteur (1822-1895), na relação entre os micróbios e o processo da pasteurização. Ora, foi a especificidade da sociedade francesa do final do século XIX que tornou possível a identificação dos micróbios, mas ao serem identificados, os micróbios redefiniram aquela sociedade: com a descoberta dos micróbios a medicina não foi mais a mesma, a indústria alimentícia modificou-se e a atuação do poder público acompanhou tal conjunto de mudanças (LATOURE, 1996). Em cada intervenção humana, em cada vinho, em cada cerveja, em cada conserva, em cada hospital, em todos os lugares, existiam os mesmos elementos, mais os micróbios.

A relação entre nanotecnologia, sociedade e ambiente pode ser descrita por meio da utilização do “sistema circulatório da ciência” (LATOURE, 1995, p. 22), que envolve a correlação de pessoas (cientistas), instituições (laboratórios), ideias (teorias) e objetos (tecnologia). Este esquema distingue cinco categorias de tarefas, que constituem para os cientistas cinco horizontes profissionais bastante distintos: 1) *Mobilização do mundo*: diz respeito ao processo por meio do qual a instrumentação da pesquisa, como equipamentos, dispositivos técnicos, infraestrutura de experimentação, por exemplo, produz os dados; 2) *Autonomização*: compreende o processo por meio do qual se criam o conjunto de praticantes de uma especialidade científica e as estratégias por meio das quais se engendram os critérios de avaliação e relevância do campo científico; 3) *Alianças*: refere-se ao conjunto de laços estratégicos firmados com o setor econômico e político, por exemplo, e que permite o financiamento dos laboratórios de pesquisa; 4) *Representação pública*: significa o esforço de construção da imagem positiva das atividades científicas, tornando-a desejável e confiável junto à opinião pública; 5) *Vínculos e nós*: trata-se do conteúdo científico, os conceitos propriamente ditos. Nas próprias palavras de Latour,

Eis aí cinco tipos de atividades que os estudos científicos têm de descrever em primeiro lugar caso pretendam começar a entender, de um modo realista, o que determinada disciplina científica procura: instrumentos,

colegas, aliados, público e, finalmente, o que eu chamo de vínculos e nós, a fim de evitar a bagagem histórica que vem com a expressão “conteúdo conceitual” (LATOURE, 2001, p. 117).



Pode-se dizer, resumidamente, que os *instrumentos* referem-se aos equipamentos por meio dos quais os dados são produzidos (infra-estrutura); *autonomização* significa o modo como uma disciplina ou área de pesquisa torna-se independente; *alianças* referem-se aos grupos interessados nas atividades (investimentos); o *público* refere-se aos indivíduos (interesse); e as *teorias* são pontos de ligação entre os elementos do circuito. Portanto, considerar as relações nanotecnologia, sociedade e ambiente como tecnociência, significa conceber os mecanismos por meio dos quais o arranjo e ordenação dos elementos socio-técnicos permitem a produção e fixação das representações da ordem natural e social e, portanto, da imagem que a sociedade produz de si mesma. Assim, podemos extrair a hipótese segundo a qual a atividade científica encontra-se inteiramente ligada ao mundo social e o mundo social inteiramente ligado à atividade científica. Isto significa que, se estamos interessados em examinar a relação entre nanotecnologia, sociedade e ambiente no Brasil, necessitamos acompanhar o movimento de circulação por meio do qual a nanotecnologia – através de cientistas, instituições, ideias e objetos – se liga à sociedade.

As relações entre nanotecnologia, sociedade e ambiente no Brasil

Sob o ponto de vista do sistema circulatório da ciência, a primeira característica que marca a relação entre nanotecnologia, sociedade e ambiente no Brasil refere-se à necessidade de utilização de equipamentos que são custosos, escassos e complexos para manipulação e fabricação de fenômenos em escala nanométrica. Diferente de outros objetos de estudo, a produção do conhecimento em escala nanométrica está exposta a potenciais controvérsias sociotécnicas, necessita de sofisticados instrumentos laboratoriais para ser realizada, seus experimentos são mediados por equipamentos e sistemas computacionais muito sofisticados, grupos de pesquisa capacitados e razoáveis somas de recursos financeiros (VINCK, 2010).

Do ponto de vista laboratorial, a produção do conhecimento em nanociência e nanotecnologia pressupõe, além das facilidades básicas de um laboratório de pesquisa em materiais (fornos, capelas de alta sucção, sistemas de vácuo, vidraria especial, câmaras secas, etc.), os equipamentos convencionais (espectrômetros para diferentes regiões espectrais, técnicas de difração como as térmicas, elétricas e de superfície), as novas gerações de microscópios de alta resolução (transmissão, varredura, força-atômica, tunelamento), supercomputadores capazes de efetuarem a modelagem, simulação e *design* de novos materiais, e da famosa “sala limpa” (ALVES, 2004). Se a produção do conhecimento tecnocientífico depende de complexa infraestrutura e vultosos recursos financeiros, isto significa, do ponto de vista do sistema de divisão da produção científica e tecnológica mundial, que sua utilização é restrita e controlada. Esta característica possui duas dimensões principais que se encontram interligadas e que é necessário considerar.

No que se refere à primeira dimensão é preciso observar que os custos de “mobilização do mundo” na produção do conhecimento nanotecnológico forçam a especialização. Assim, o Brasil acaba ocupando um lugar específico na rede internacional de produção nanotecnológica. Alguns países centram sua produção nanotecnológica na área de materiais, outros na eletrônica, outros no mercado de fármacos. O Brasil precisa, então, determinar áreas estratégicas de investimento, de acordo com uma agenda interna de demandas e necessidades, sem, todavia, esquecer os condicionantes da concorrência externa da produção global em nanotecnologia.

Outro aspecto importante diz respeito ao processo de constituição da comunidade de pesquisadores em nanotecnologia e também do

processo de formação técnica em todos os níveis de formação acadêmica. Mais precisamente, isto diz respeito aos conhecimentos necessários para compreender e aplicar a nanotecnologia. Segundo a descrição proposta por Alves (2004, p. 32-33) este processo envolveria:

- Conhecimentos de química e física do estado sólido (dependência das propriedades como tamanho, estruturas cristalinas, vibrações de rede);
- Bandas de energia (isolantes, semicondutores e condutores, energia das ligações, superfícies de Fermi);
- Partículas localizadas (doadores e receptores, *traps*);
- Métodos e propriedades de medidas (estrutura atômica, cristalografia, determinação do tamanho de partícula, estrutura das superfícies);
- Microscopia (microscopia eletrônica de transmissão, microscopia eletrônica de varredura, microscopias de força atômica e tunelamento);
- Espectroscopia (infravermelho e Raman, foto emissão e espectroscopia de raios-X, ressonância magnética);
- Propriedades de nanopartículas individuais (*nanoclusters* metálicos, nanopartículas semicondutoras, métodos de síntese – plasma, métodos químicos, termólise e ablação laser);
- Estruturas de carbono (moléculas de carbono, nanotubos de carbono, aplicações de nanotubos);
- Materiais nanoestruturados (nanoestruturas sólidas desordenadas, cristais desordenados);
- Materiais magnéticos nanoestruturados (magneto-resistência gigante e colossal, ferrofluidos);
- Espectroscopia óptica e vibracional (região do infravermelho, luminescência, nanoestrutura e cavidades zeolíticas);
- Poços fios e pontos quânticos (preparação de nanoestruturas quânticas, efeitos de tamanho e dimensionalidade, excítons, tunelamento, aplicações, supercondutividade);
- Automontagem (processos, monocamadas);

- Catálise (superfície e área de nanopartículas, materiais porosos, argilas pilarizadas, colóides);
- Compostos orgânicos e polímeros (formação e caracterização de polímeros, nanocristais, polímeros condutores, blends, estruturas supramoleculares – moléculas dendríticas, dendrímeros supramoleculares, micelas).
- Caso a vertente esteja dirigida para materiais biológicos, destacamos:
 - “Blocos de construção” biológicos (tamanhos de blocos e nanoestruturas, nanofios de DNA, código genético, síntese de proteínas);
 - Nanoestruturas biológicas (proteínas, micelas e vesículas, filmes multicamadas).
- E, para o caso de nanodispositivos:
 - Sistemas microeletromecânicos (NEMs);
 - Sistemas nanoeletromecânicos (NEMs) (fabricação e nanodispositivos);
 - Chaveamento molecular e supramolecular.

O que se observa no exame desta listagem de habilidades necessárias para o domínio cognitivo e material da nanotecnologia é que ela encontra-se nos pontos de intersecção entre a física, a química, a biologia e a engenharia, o que denota seu caráter eminentemente interdisciplinar. Portanto, o simples exame desta lista de habilidades revela que a nanotecnologia não constitui um domínio de conhecimento muito bem delimitado. Isto indica que a nanotecnologia é algo que se encontra em negociação, pois não se sabe muito bem como efetuar os processos de formação e treinamentos dos especialistas devido ao crescente avanço do campo. O significado mais evidente desta característica é que o conhecimento é produzido em seus vários lugares de aplicação e, portanto, “a nanotecnologia não poderá ser capturada de forma linear, disciplinarmente” (WOOD, 2006, p. 156). A consideração destes fatores desemboca em duas constatações: a nanotecnologia pressupõe novas estratégias de treinamento e programas de reciclagem e, ao mesmo tempo, novas formas de atração e recrutamento para criação de “nanotecnologistas” (cientistas, engenheiros e técnicos). O laboratório, neste caso, é o ambiente central de produção de conhecimento. É uma

entidade institucional orientada por forças contingentes e transnacionais, com fronteiras extremamente fluidas e auto-ajuntadas, na medida em que interage com uma grande variedade de entidades. Ou seja, o laboratório é produto cultural e produtor de cultura, graças ao seu poder de intervenção no mundo natural e social. Tais aspectos da “ciência em ação” precisam entrar na agenda das ciências sociais brasileira, através do ferramental teórico e metodológico dos estudos sociais da ciência e tecnologia.

Do ponto de vista do sistema circulatório, a nanotecnologia constitui uma tecnociência que vem sendo promovida junto à opinião pública. Ao contrário do que aconteceu com a biotecnologia e os organismos geneticamente modificados, células-tronco e energia nuclear⁸, existe uma intensa batalha sendo travada junto à opinião pública, visando reforçar a imagem positiva do poder transformador da nanotecnologia e, com isso, aumentar suas possibilidades de aceitação social. Para que haja investimento privado é preciso que a nanotecnologia apresente uma imagem positiva, na medida em que o interesse industrial pressupõe a sua subsequente mercantilização. Os “nanotradutores” constituem uma espécie de difusores tecnológicos que emitem uma imagem positiva da nanotecnologia. Os “nanodesconstrutivistas” constituem o lado oposto desta arena de disputa.

Um dos espaços onde este dois tipos de atores interagem e onde a contraposição entre o discurso “nanotimista” e “nanopessimista” pode ser facilmente isolado constitui as consultas públicas. As consultas públicas compreendem dispositivos concebidos para ampliar a capacidade de governança e monitorar os eventuais impactos negativos associados a uma inovação tecnocientífica sobre a sociedade e o ambiente e, também – e ao contrário do que muitos cientistas e engenheiros pensam – a reforçar a própria legitimação dos artefatos sociotécnicos, através da inclusão dos interesses leigos no debate promovido por estas consultas. A consulta pública sobre temas e escolhas sociotécnicas é ainda uma realidade incipiente no Brasil e, ao contrário do que muitos pensam, ela não é um empecilho ao desenvolvimento tecnológico e científico, mas mais uma forma de fornecer-lhe legitimidade. A nanotecnologia só se concretiza como atividade tecnocientífica através da articulação de múltiplos interesses sociais. A legitimidade do conhecimento tecnocientífico depende justamente do elaborado mecanismo de união das dimensões sociais que o sustenta.

⁸ Ou justamente por causa da experiência histórica de divulgação de tais inovações junto à opinião pública.

Comentários finais

É preciso entender a gramática do campo científico no Brasil para não acontecer um diálogo de surdos entre cientistas de variadas áreas, principalmente quando a nanotecnologia torna-se objeto de pesquisa das ciências sociais e humanas. Parte dos embates em torno do tema decorre de fatores relativos a quem são os atores e como eles lêem as ações e estratégias de reconhecimento neste campo científico. É necessário entender a lógica do campo científico – na temática nanotecnológica – para compreender a produção de um discurso dito científico pelos cientistas naturais e engenheiros e outro dito político (os cientistas sociais são acusados de usarem um discurso político, um discurso menor em um campo, com outra lógica). A caracterização deste tipo de divisão discursiva é tema fecundo na pesquisa social, com grandes implicações a respeito da forma como as ciências naturais e as engenharias acabam constituindo ações legitimadoras e de autoridade na difusão de artefatos e sistemas tecnológicos pela sociedade afora.

As relações que os artefatos nanotecnológicos mantêm com a sociedade e o ambiente são complexas, porque a ciência e a tecnologia constituem, simultaneamente, um sistema de conhecimento formalizado, uma profissão institucionalizada, um processo de pesquisa, um procedimento de manipulação dos fenômenos, uma força produtiva que transforma o mundo (CALLON, 1989). Portanto, é difícil oferecer uma caracterização breve e precisa da relação que a ciência e a tecnologia mantêm com a sociedade, porque ambas – ciência e tecnologia – são constituídas por fenômenos sociais complexos e a função do conhecimento científico tem variado historicamente. Nos últimos anos, contudo, a atenção dos estudos sociais em ciência e tecnologia tem se deslocado dos produtos e impactos da tecnociência para a sua própria lógica de produção e institucionalização nos centros de pesquisa acadêmicos e industriais (BIJKER, HUGUES, PINCH, 1997). Os efeitos sociológicos desta nova forma de focar a ciência e a tecnologia foram a modificação das ideias das interações que a ciência mantém com outras atividades sociais; mais precisamente, devemos considerar não somente os efeitos que o contexto social exerce sobre a formatação ou configuração da nanotecnologia, mas também como a nanotecnologia configura o próprio contexto social.

Ao relacionar a ciência com a sociedade nós deixamos de pensar a ciência e a tecnologia como atividades autônomas, com lógicas próprias e essencialmente distintas; ambas são eminentemente sociais. A ciência e a tecnologia pensadas como atividades sociais, como emprego de artefatos ou como gestão de recursos, estão integradas aos

contextos sociais dentro dos quais estabelecem vínculos e interdependência com vários componentes. Pelo fato do desenvolvimento, difusão e transferência científica e tecnológica provocarem alterações no contexto social e o contexto social afetar o desenvolvimento da ciência e tecnologia é preferível falar de tecnociência, ou seja, pensarmos a ciência e a tecnologia como prática social integrada aos mecanismos estruturais da dinâmica econômica capitalista.

Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Panorama nanotecnologia**. Série Cadernos da Indústria ABDI, Volume XIX. Brasília: ABDI, 2010.

ALVES, Osvaldo Luiz. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre o presente e o futuro não é apenas uma questão de tempo. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 18, agosto, p. 23-39, 2004.

BIJKER, Wiebe E.; HUGHES, Thomas P.; PINCH, Trevor. **The Social Construction of Technological Systems: News Directions in the Sociology and History of Technology**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, p. 159-187, 1997.

CALLON, Michel. L'agonie d'un laboratoire. In: CALLON, Michel. **La science et ses réseaux: genèse et circulation des faits scientifiques**. Paris: Éditions la Découverte, p. 173-214, 1989.

_____. Luchas y negociaciones para definir qué es y qué no es problemático. La socio-lógica de la traducción. **Redes: Revista de Estudios Sociales de la Ciencia**, v. 12, n. 23, p. 103-128, 2006.

CIENTIFICA. **The Nanotechnology Opportunity: Report Executive**. 3ª Ed. London: Científica, 2008.

COLLINS, Harry M., e EVANS, Robert. The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience. **Social Studies of Science**, v. 32, n. 2, p. 235-296, 2002.

COMISSÃO EUROPÉIA. Nanotecnologia: inovações para o mundo de amanhã. Luxemburgo: Serviço de Publicações Oficiais da Comunidade Européia, 2004.

LAW, John; HASSARD, John. **Actor Network Theory**. London: Balckwell Publishers, 1999.

DREXLER, K. E. **Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology**. New York: Anchor Books, New York, 1987.

_____. **Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation**. Hoboken: Wiley Interscience, 1992.

ETCGROUP. **Tecnologia atômica: a nova frente das multinacionais**. São Paulo: Expressão Popular, 2004a.

_____. **La invasión invisible del campo: el impacto de las tecnologías nanoscópicas em la alimentación y la agricultura**. Ciudad de México: ETCGroup, 2004b.

FEYNMAN, Richard P. There's plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics. **Los Angeles: California Institute of Technology, 1959. Disponível em:** <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.

FLICHY, Patrice. **L'innovation technique: récents développements en sciences sociales vers une nouvelle théorie de l'innovation**. Paris: La Découverte, 2003.

GIBBONS, Michael. **The new production of knowledge: the dynamics of science and reasearch in contemporary societies**. London: SAGE Publications, 2006.

GOULD, Kenneth. Nanotecnologia, inovação e meio ambiente. In: MARTINS, Paulo R. (Coordenador). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Associação Editorial Humanitas, 2005.

HESS, David. **Science Studies: an Advanced Introduction**. New York/London: New York University Press, 1997.

LATOUR, Bruno. **Le métier de chercheur regard d'un anthropologue**. Paris: INRA Editions, 1995.

_____. Pasteur e Pouchet: heterogênese da história das ciências. In: SERRES, Michel (Direção.). **Elementos para uma história das ciências**, III volume: de Pasteur ao computador. Lisboa: Terramar, p. 49-76, 1996.

_____. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

_____. **A esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos.** Bauru: Edusc, 2001.

LUX RESEARCH. The Nanotech Report, 4th Edition, 2006. Disponível em: <http://www.luxresearchinc.com>

_____. **Nanotechnology moves from discovery to commercialization: \$ 50 billion in 2006 product sales, \$12 billion in funding.** 2007. Disponível em: <http://www.luxresearchinc.com/press/2007-lux-research-nanotech-report-5.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2010.

MARTINS, Paulo R. (Coordenador). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente: trabalhos apresentados no segundo seminário internacional.** São Paulo: Xamã, 2006.

MARTINS, P.; PREMEBIDA, A.; DULLEY, R.; BRAGA, R. **Revolução invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil.** São Paulo: Xamã, 2007.

MATTEDI, Marcos. **Sociologia e Conhecimento: introdução à abordagem sociológica do problema do conhecimento.** Chapecó, SC: Editora Argos, 2006.

THE ROYAL ACADEMY. **Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties.** UK. The Royal Academy, 2004.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. **Informe sobre desarrollo humano 2001: poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano.** Ciudad de México: Ediciones Mundi-Prensa, 2001.

ROCO, Mihail C.; BAINBRIDGE, William S. **Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Sciences.** Arlington: NSF/DOC – Sponsored Report, 2002 Disponível em: http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/1/NBIC_report.pdf.

RYMAN-RASMUSSEN, J.; RIVIERE, Jim E.; MONTEIRO-RIVIERE, Nancy A. Penetration of Intact Skin by Quantum Dots with Diverse Physicochemical Properties. **Toxicological Sciences**, 91(1), p. 159-165, 2006.

SCHUMMER, Joachim. Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research. In: BAIRD, D.; NORDMANN, A.; SCHUMMER, J. **Discovering the Nanoscale.** Amsterdam: IOS Press, 2004.

SUCHMAN, Mark C. Social Science and Nanotechnology. In: ROCO, M.; TOMELLINI, R. **Nanotechnology: revolutionary opportunities and social implications**. Luxemburg: Oficial Publications of the European Communities, 2002. Disponível em: <http://www.fflch.usp.br/seminanosoma/pdfs/DOWNLOAD%20Social%20science%20and%20Nanotechnology.pdf>

VINCK, Dominique. The “Enterprise of Science”: Construction and Reconstruction of Social Capital Around Nano R&D. **International Journal of Nanotechnology**, v. 7, n. 2-3, 2010.

WOOD, Stephen J. Nanotecnologia, inovação e sociedade: a visão das ciências sociais. In: MARTINS, Paulo Roberto (org.). **Nanotecnologia Sociedade e Meio Ambiente. Trabalhos apresentados no segundo seminário internacional da Renanosoma**. São Paulo: Xamã, 2006.

Artigo recebido em novembro/2010
Aprovado em março/2011.