

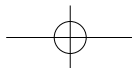
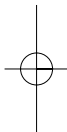
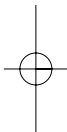
# Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável

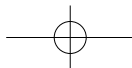
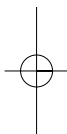
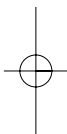
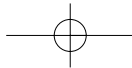
*Paulo Martins\**

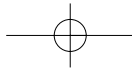
Fecha de recepción: julio de 2008

Fecha de aceptación: diciembre de 2008

\* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo - IPT.  
Correo electrónico: marpaulo1@uol.com.br







## Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável

*Paulo Martins*

### **Resumen**

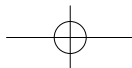
O presente texto começa por apresentar uma breve introdução histórica descritiva da nanotecnologia e a seguir indica uma concepção de como se articulam as oportunidades tecnológicas e o meio ambiente. Em continuidade é indicado como podemos estabelecer as relações entre a nanotecnologia, oportunidades tecnológicas e meio ambiente. Sendo a sociedade sustentável a meta a ser alcançada, em seguida o texto indica as relações entre este tipo de sociedade e a nanotecnologia. Este texto é finalizado indicando algumas conclusões preliminares relativas as interrelações entre nanotecnologia, oportunidades tecnológicas e meio ambiente no processo de construção de uma sociedade sustentável e indicando algumas questões teóricas para a reflexão coletiva

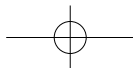
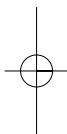
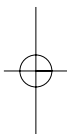
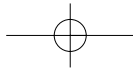
Palavras Chave: nanotecnologia, sociedade sustentável, meio ambiente, oportunidades tecnológicas

### **Abstract**

This paper has seven topics that discuss the relationship between Nanotechnology and Environment to build a Sustainable Society. In a glance is showed what is nanotechnology and its recent history (topics 1 and 2). In continuity is presented the theoretical bases to understand the relationship between environment and technological opportunities. The topic4 introduce nanotechnology in the reflection about environment and technological opportunities. Nanotechnology and Sustainable is discussed in the topic 5. After theses previews topic are presented the preliminary conclusions and suggestions to the theoretical reflections.

Key words: nanotechnology, sustainable society, environment, technological opportunities





Edgard Morin, eminente cientista mundial, nos indica o contexto social em que nos encontramos no atual estágio do desenvolvimento hegemônico em nosso planeta

"A NAVE ESPACIAL TERRA É MOVIDA POR QUATRO MOTORES ASSOCIADOS E, AO MESMO TEMPO, DESCONTROLADOS: CIÊNCIA, TÉCNICA, INDÚSTRIA E CAPITALISMO (LUCRO).

O PROBLEMA ESTA EM ESTABELECEER UM CONTROLE SOBRE ESTES MOTORES: OS PODERES DA CIÊNCIA, DA TÉCNICA, E DA INDÚSTRIA DEVEM SER CONTROLADOS PELA ÉTICA, QUE SÓ PODE IMPOR SEU CONTROLE POR MEIO DA POLÍTICA" (1)  
 Portanto, o que temos é: "A SOCIEDADE ATUAL É INSUSTENTÁVEL TANTO PARA O PLANETA EM QUE HABITAMOS COMO PARA A MAIORIA DA POPULAÇÃO. O QUE TEMOS, PORTANTO, É UMA ORDEM DE UM MUNDO A SUPERAR" (2)

A ordem de um mundo a superar sempre nos coloca a questão da utopia.  
 Mário Quintana nos da uma dica em relação a isto  
 DAS UTOPIAS

Se as coisas são inatingíveis... ora!/ Não é motivo para não querê-las...  
 Que tristes os caminhos, se não fora/ A presença distante das estrelas! (3)

Essa utopia pode ser nomeada como:  
 "...A META A SER ATINGIDA É A SOCIEDADE SUSTENTÁVEL, CARACTERIZADA GROSSO MODO COMO NÃO CAPITALISTA, EM QUE A QUESTAO AMBIENTAL É ENTENDIDA COMO UM FATOR DE RESTRIÇÃO DE PRIMEIRA ORDEM AS ATIVIDADES ECONOMICAS" (4).

Mas muitos estão atravancando o caminho para a realização desta utopia. Novamente, Mário Quintana nos ensina em seu  
 POEMINHA DO CONTRA:

Todos estes que aí estão/ Atravancando o meu caminho,  
 Eles passarão./ Eu passarinho! (5)

## 1 Introdução

A Nanotecnologia pode ser apresentada em duas formas. Na primeira delas, esta tecnologia se caracteriza através de dois aspectos principais. O primeiro deles se

<sup>2</sup> Morin, Edgard. *Por uma globalização plural*. Folha De São Paulo Domingo, 31/3/02, p.a16.

<sup>2</sup> Martins, Paulo R. *Por Uma Política Ecoindustrial*. In *O desafio da Sustentabilidade. Um debate socioambiental no Brasil*, Silva, Marina et all (org) São Paulo, Ed. Fundação Perseu Abramo, 2000, p.111.

<sup>2</sup> MÁRIO QUINTANA - ESPELHO MÁGICO. [http://www.pensador.info/autor/Mario\\_Quintana](http://www.pensador.info/autor/Mario_Quintana)

<sup>2</sup> Martins, Paulo R. *Por Uma Política Ecoindustrial*. In *O desafio da Sustentabilidade. Um debate socioambiental no Brasil*, Silva, Marina et all (org) São Paulo, Ed. Fundação Perseu Abramo, 2000, p.111

<sup>2</sup> Quintana, Mário. *Poeminha do Contra* [http://www.pensador.info/autor/Mario\\_Quintana/3](http://www.pensador.info/autor/Mario_Quintana/3)

refere ao prefixo nano, que é indicador de medida. Um nano significa a bilionésima parte de um metro, ou seja,  $10^{-9}$  metros. Portanto, nanotecnologia se refere somente a escala e não a objetos, como por exemplo a biotecnologia, onde o prefixo bios significa vida.

O segundo aspecto é que nanotecnologia se refere a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas que para serem enxergadas requerem microscópios especiais (STM e SPM).

Para que os leitores possam exercitar as respectivas imaginações podemos indicar que um único fio de cabelo humano tem a dimensão de 80.000 nm (nanômetros) de espessura, enquanto que 1 nm contem 10 átomos de hidrogênio colocados lado a lado. A conhecidíssima molécula de DNA tem o tamanho de aproximadamente 2,5 nm de largura, enquanto que um glóbulo vermelho tem 5.000 nm de diâmetro.

A segunda forma de apresentarmos a nanotecnologia se refere a considerar primeiro a nanociência como o estudo dos princípios fundamentais de moléculas e estruturas com uma dimensão entre 1 a 100 nm (nanômetros). A nanotecnologia seria então a aplicação destas moléculas e nanoestruturas em dispositivos nanométricos.

As partículas nano embora sendo do mesmo elemento químico se comportam de forma distinta - em relação as partículas maiores - em termos de cores, propriedades termodinâmicas, condutividade elétrica, etc. Portanto, o tamanho da partícula é de suma importância porque muda a natureza das interações das forças entre as moléculas do material e assim, muda os impactos que estes processos ou produtos nanotecnológicos tem junto ao meio ambiente, a saúde humana e a sociedade como um todo.

São os comportamentos distintos acima referidos que interessam diretamente ao processo de produção industrial em curso, pois isto proporciona avanços incrementais na elaboração de produtos já conhecidos e aponta também para a introdução de novos produtos.

Mas como se criam as nanoestruturas com objetivos industriais? O leitor deve fixar a compreensão de que duas são as técnicas para se criarem nanoestruturas, com variados níveis de qualidade, velocidade e custos. Elas são conhecidas como "Botton-up" (baixo para cima) e "Top-down" (cima para baixo). É preciso realçar que nos anos recentes a tendência de convergência entre estas técnicas esta em curso.

No que toca a técnica "Botton-up" ela proporciona a construção de estruturas átomo por átomo ou molécula por molécula mediante três alternativas a saber:

- a) síntese química (chemical Synthesis), em geral utilizada para produzir matérias primas, nas quais são utilizadas moléculas ou partículas nano;
- b) auto-organização (self assembly). Nesta técnica, os átomos ou moléculas organizam-se de forma autônoma por meio de interações físicas ou químicas construindo assim nanoestruturas ordenadas. Diversos sais em formas de cristais são obtidos por esta técnica;
- c) organização determinada (positional assembly). Neste caso, átomos e moléculas são deliberadamente manipulados e colocados em determinada ordem, um por um.

Em relação a técnica "Top-down" (cima para baixo) esta tem por objetivo reproduzir algo, porem em menor escala que o original e com maior capacidade de processamento de informações, como em um chip por exemplo. Isto é feito mediante dois caminhos: engenharia de precisão ou litografia. A indústria de semicondutores realizando isto nos últimos 30 anos.

O desenvolvimento da nanotecnologia pode ser acompanhado via seu processo de institucionalização ocorrido em alguns países como Estados Unidos da América do Norte por exemplo.

Esta é uma das referencias para se demonstrar a importância atual e futura da Nanotecnologia. Estas referencias podem ser institucionais como a National Nanotechnology Initiative (<http://www.nano.gov/>) do governo do USA ou da União Europeia , através da sua diretoria de pesquisa (<http://cordis.europa.eu.int/nanotechnology/>)

Para efeito desta introdução vamos aqui apresentar a visão de um importante cientista no campo da nanotecnologia. Richard Smalley, prêmio Nobel de Química de 1996.

"O impacto da nanotecnologia na saúde, riqueza e padrão de vida do povo será pelo menos o equivalente as influencias combinadas da microeletronica, imagens para diagnósticos medicos, engenharia de computação e polímeros sintéticos ocorridas neste século (Smalley, 1999).

A contribuição deste premio nobel já falecido foi intensa e como produto de sua dedicação a este tema foia sua contribuição para a descobertas dos fulerenos . Estes carbonos 60 (C60 ) são a terceira forma de carbono mais estável , depois do diamante e grafite. Foram descobertos - em 1985 - pelas equipes de cientistas Harold Kroto, da Universidad de Sussex, James Heath, Sean O'Brien, Robert Curl y Richard Smalley, da Universidad de Rice, USA. Kroto Curl y a Smalley ganharam o premio Nobel de Quimica de 1996 pela colaboração no descobrimento desta classe de composto. Abaixo a imagem de um fullereno.

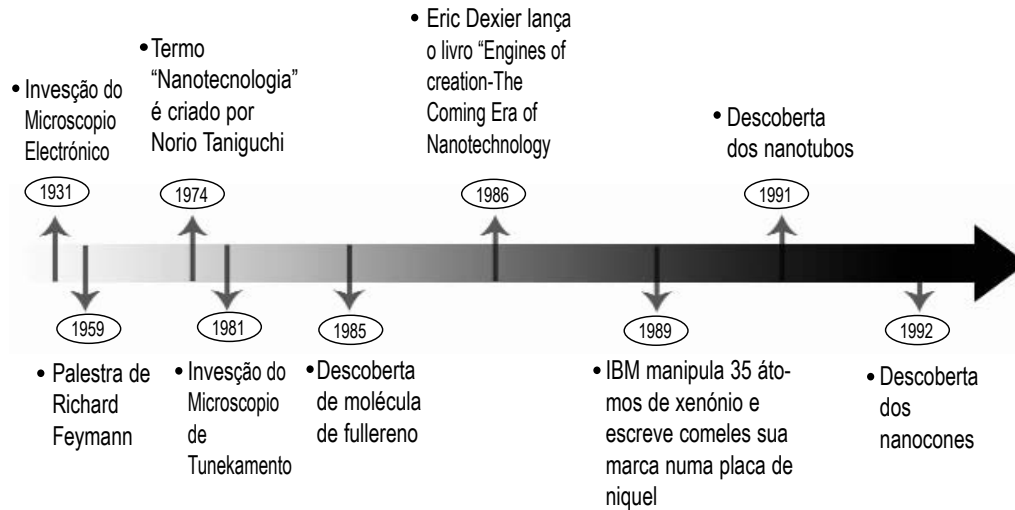
Outra importante descoberta decorrente da nanotecnologia foi o nanotubo de carbono que tem omportantes características como ser 100 vezes mais resistente que o aço e 6 vezes mais leve que o aluminio. Isto, em conjunto com outras qualidades - conditividade eletrica - qualifica este produto com de uma infinidade de usos em termos industriais. Abaixo temos uma imagem de um nanotubo de carbono

## **2 Alguns aspéctos históricos recentes do desenvolvimento da nanotecnologia**

A idéia de que a matéria é composta por átomos já tem cerca de 2400 anos, quando o filósofo grego Demócrito defendia esta tese. Mas somente no final da década de 50 do século passado é que temos um fato que marca o inicio da Nanotecnologia em nossos tempos. A figura 3 abaixo indica os principais marcos históricos nas historia recente da nanotecnologia.

O fisico Norte Americano Richard Phillips Feynman (11/5/1918 -15/2/1988) faz uma conferencia no dia 29 Dezembro de 1959 ,as 15h, em uma reunião da Sociedade Americana de Física realizada no Instituto de Tecnologia da Califórnia - Caltech- , denominada "There's Plenty of Room at the Bottom " (Há muito espaço lá em baixo) A primeira publicação desta

Figura 3. Marcos Históricos da Nanotecnología



Fonte: Instituto Inovação.

conferencia se deu em fevereiro de 1960 no Caltech's Engineering and Science, O texto completo encontra-se disponível neste site <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html> .

Nesta palestra Feynman afirmava que "Os princípios da física não falam contra a possibilidade de se manipular as coisas átomo por átomo". Apontou também para o que seria, a seu ver, a principal barreira para a manipulação na escala nanométrica: a impossibilidade de vê-la.

A IBM , 23 anos após a palestra de Feynman , em 10 de Agosto de 1982, consegue a patente do denominado Microscópio de Varredura de Tunelamento Eletrónico (Scanning Tunneling Microscope - STM) que permite a visualização de imagens em tamanho nano. A partir deste microscópio outro foi desenvolvido, levando o nome de Microscópio de Microssondas Eletrônicas de Varredura (Scanning Probe Microscopes - SPM), que permite visualizar e manipular átomos e moléculas.

Com o auxílio destes aparelhos foi possível escrever parte do discurso de Richard P. Feynman em escala nanométrica, conforme pode ser visto a seguir.

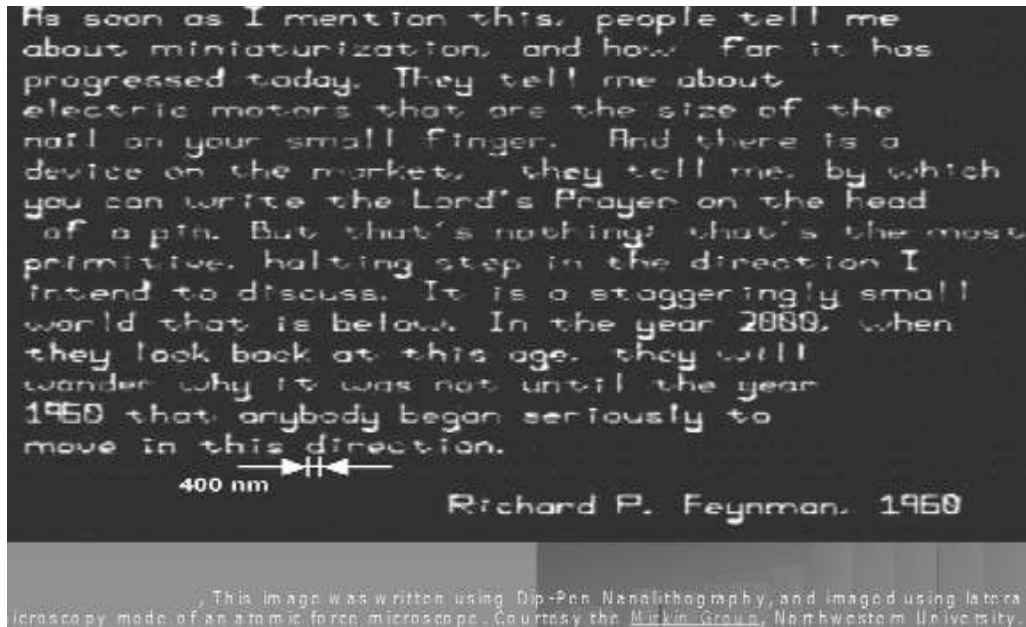
O termo Nanotecnologia foi primeiro utilizado pelo Prof. Norio Taniguchi, da Universidade de Ciência de Tóquio. Ele usou este termo para descrever a fabricação precisada novos materiais com tolerâncias nanométricas.

Nos anos 80 este termo adquire nova conotação devido a publicação do livro (1986) de K.Eric Dexler intitulado "Engines of Criation - The New Era of Nanotecnology". Em 1992, com a publicação da tese de doutorado deste mesmo autor, defendida no Massachusetts Institute



## CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.

Figura 2. Parte do discurso de Richard P. Feynman em escala nanométrica.



Fonte: Instituto Inovação.

of Technology - MIT - e cujo título é "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation" a nanotecnologia ganha novo impulso na comunidade científica.

Em 1989 novamente a empresa IBM marca sua presença no desenvolvimento da nanotecnologia. Manipulando 35 átomos de Xenônio, consegue escrever - com estes átomos - sua sigla em uma placa de níquel. Esta imagem correu o mundo, anunciando um novo estágio na nanotecnologia.

A década de 90 continua proporcionando grandes avanços neste campo, como foi o caso dos nanotubos de carbonos, descobertos em 1991 - sua importância já foi demonstrada no item anterior - e em 1992 a descoberta dos nanocônes.

Os marcos históricos aqui apresentados não esgotam a história recente da nanotecnologia mas demonstram o empenho em se desenvolver teorias e técnicas que permitiram o avanço da nanotecnologia, materializado nas diversas aplicações industriais realizadas via novos processos e materiais nanotecnológicos. Todo este desenvolvimento ocorrido nas últimas décadas nos países desenvolvidos contou com um suporte institucional amplo coordenado pelo Estado.

### 3 Meio ambiente e oportunidades tecnológicas

Depreende-se de seus argumentos tratar-se da possibilidade de minimizar impactos ambientais e sociais do processo produtivo, através da inovação (incremental ou revolucionária) decorrente do emprego das nanotecnologias nos processos produtivos.

As oportunidades tecnológicas são aqui entendidas no sentido das possibilidades que as diversas tecnologias (biotecnologia, nanotecnologia, etc) apresentam para minimizar os impactos ambientais e sociais do processo produtivo através da inovação seja ela incremental ou revolucionária. Para entender as relações entre meio ambiente e oportunidades tecnológicas é preciso responder a questão a seguir colocada:

Como entender as relações entre tecnologia e meio ambiente?

No campo neoclássico da teoria econômica, representado pela economia ambiental e dos recursos naturais, o pressuposto adotado é que toda externalidade pode ser quantificada e em consequência receber uma valoração monetária. Com isto estaríamos internalizando as externalidades.

As críticas a esta postura podem ser feitas sob vários aspectos. Um destes é o aspecto metodológico, pois, os neoclássicos trabalham fundamentados no individualismo metodológico, segundo o qual:

todas as instituições, padrões de comportamentos e processos sociais só podem ser em princípio explicados em termos de indivíduos: suas ações, propriedades e relações. É uma forma de reducionismo, o que quer dizer que nos leva a explicar os fenômenos complexos em termos de seus componentes mais simples (Elster, 1989:37).

Para os neoclássicos os indivíduos são livres, dispõem de todas as informações necessárias à tomadas de decisões e as tomam de forma racional, baseados em suas preferências. O locus das ações dos indivíduos é o mercado. As críticas a esta postura explicitam que as preferências alteram-se historicamente, o interesse próprio é uma caracterização inadequada das preferências, e, sob determinadas condições, a ação "racional" não é possível, mesmo que os indivíduos sejam racionais.

A crítica feita pela economia ecológica à postura da economia ambiental (neoclássica) é que:

argumentamos contra la posibilidad de internalización convincente de las externalidades, sendo uno de los argumentos principales el de la ausencia de las generaciones futuras en los mercados actuales, aun se esos mercados se ampliam ecológicamente mediante simulaciones basadas en la disposición a pagar, y no en pagos realmente efectuados. Pensamos que, en el mejor de los casos, los agentes económicos actuales valoran de manera arbitraria los efectos irreversibles e inciertos de nuestras acciones de hoy sobre las generaciones futuras. (...) La crítica ecológica se basa además en la incertidumbre sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos que impide radicalmente la aplicación del análisis de externalidades. Hay externalidades que no conocemos. A otras, que conocemos, no sabemos darles un valor monetario actualizado, al no saber siquiera si son positivas o negativas (Alier, 1995: 46-48).

Fica descartado para a análise que realizamos, o marco teórico neoclássico, bem como sua versão expressa na economia ambiental e dos recursos naturais.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.**

A nossa opção é por trabalhar com a economia ecológica, entendida enquanto estudo da compatibilidade entre a economia humana e o meio ambiente no longo prazo. Esta compatibilidade não está assegurada pela valoração de recursos e serviços ambientais em mercados reais ou fictícios.

Quem mais se coaduna com esta visão são os chamados evolucionistas, na medida em que no marco teórico schumpeteriano aqui adotado, as externalidades devem ser olhadas numa perspectiva dinâmica e de longo prazo. Os processos de mudanças estão gerando ininterruptamente novas "externalidades" que devem ser tratadas de um jeito ou de outro.

No início do século quem poluía as cidades eram os cavalos que produziam o esterco e não os carros com suas emissões de CO<sub>2</sub>, mesmo porque a capacidade de produção e o número de empresas automobilísticas nesta época, eram reduzidas. Durante várias décadas o padrão produtivo parecia gerar apenas "externalidades" positivas. Com a institucionalização do processo de produção em massa desses bens, a percepção das externalidades foi mudando. Hoje sabemos que o padrão produtivo tecnológico do pós-guerra resultou num acúmulo de "externalidades" negativas, uma delas, as emissões de CO<sub>2</sub>, cujo volume, devido a quantidade de veículos existentes nas grandes metrópoles<sup>6</sup>, torna o ar poluído, acarretando doenças nas populações locais. Portanto, a percepção das externalidades é historicamente datada ou evolutiva.

Mesmo quando as externalidades negativas são muito evidentes e mesmo que haja possibilidades de trajetórias tecnológicas alternativas no sentido de serem menos poluentes, estas são de difícil adoção, dada a trajetória do desenvolvimento tecnológico dominante que na literatura especializada é referenciada enquanto fenômeno de "lock in". Isto nos leva a enfatizar a necessidade de conhecermos as restrições existentes tanto do lado da oferta como da demanda por novas tecnologias. Somente ao abrirmos a "caixa preta" científico-tecnológica é que poderemos identificar os mecanismos de auto-reforço que implicam no "lock-in".

Assim sendo, para se determinar que o progresso tecnológico siga na direção pretendida (tecnologias limpas ou menos poluentes), devemos levar em conta o que escreveu Almeida:

"De acordo com a perspectiva evolucionista, a seleção da tecnologia, a forma e o ritmo de sua difusão no conjunto da economia, dependem do contexto histórico - lato senso - específico. Para que a preocupação ambiental se torne um imperativo - uma "restrição direcional" - ao desenvolvimento tecnológico, o meio social em questão é que deve ser capaz de imprimir tal direcionamento. Este é um ponto que, sem dúvida, merece maiores detalhamentos, remetendo a uma maior compreensão das ligações entre economia-ecologia-tecnologia."(Almedia, 1994: 55)

Ainda para esta autora:

<sup>6</sup> O processo industrial que criou uma série de externalidades negativas, também criou outras de caráter positivos no caso da cidade de São Paulo, cuja base industrial foi o alicerce para que esta se tornasse uma cidade informacional, um centro internacional de serviços, conforme constata Milton Santos no seu livro "Por uma economia política da cidade."

Antes de proporem instrumentos específicos de política ambiental, os evolucionistas se preocupam em precisar o que se entende por uma trajetória de desenvolvimento ecologicamente sustentável. Esta envolve uma reestruturação econômica baseada na difusão de tecnologia Ambiental, definida como: termo genérico que abarca uma ampla variedade de técnicas, processos e produtos, os quais ajudam a evitar ou limitar os danos sobre meio ambiente. Os autores fazem distinção entre este tipo de tecnologia (também denominada de clean/cleaner technology) e a tecnologia de controle/redução da poluição (cleaning technology). Esta basicamente cuida da remoção de poluentes e, muitas vezes, apenas desloca o problema ambiental (da água, para o solo ou ar). Em essência, a poluição não é evitada, o que é possível com a clean-process-integrated-technology, pelas quais as conseqüências ambientais de um produto são pesadas desde o momento de sua concepção, envolvendo desde o seu design, passando pela seleção da matéria prima e insumos em geral, o processo produtivo, embalagem, distribuição, consumo, até a disposição final de seus resíduos (remoção, destinação e reciclagem do lixo) (Almedia, 1994:57).

Para Romero & Salles-Filho que trabalham neste mesmo referencial teórico, o cerne da questão é:

considerações de ordem ambiental por parte dos agentes econômicos tendem a fazer parte de suas estratégias inovativas na exata medida em que signifiquem oportunidades de criação de competência para a busca de vantagens competitivas. O conceito central sobre o qual esta idéia está baseada é o do mecanismo evolucionário de busca e seleção proposto por Nelson & Winter (1982). Adicionalmente trabalha-se com as noções de trajetória tecnológica, (...) heterogeneidade interindustrial ou das firmas (Romero, 1995:10).<sup>7</sup>

Após especificar os conceitos acima referenciados, Romero & Salles-Filho afirmam que: "A primeira pergunta que se deve fazer é: quais são as relações entre inovação tecnológica e meio ambiente dentro de um cenário de fortes mudanças nos fatores de pressão de seleção? Complementarmente, deve-se questionar em que medida as demandas de natureza ambiental (de ordem social, tecnológica, econômica) mudam as agendas de busca por inovações dos agentes econômicos. Para responder a essas perguntas é importante ter em mente que a questão ambiental na atualidade assumiu uma abrangência inédita, não podendo mais ser eludida como já ocorreu em vários momentos da história recente.

(...) Essa característica histórica impõe mudanças no comportamento dos agentes econômicos. Até aqui trata-se como uma externalidade, uma falha de mercado que pode ser corrigida através da precificação dos recursos, a questão ambiental tende a 'se tornar uma condição de desenvolvimento industrial moderno' (Godard, 1993:147). É preciso pois interpretá-la como um fator de seleção nos ambientes concorrenciais e dessa forma internalizá-la na análise econômica. Em outras palavras, a partir do momento em que a busca por inovações passa a se dar num ambiente seletivo que tem como um de seus delimitadores a questão ambiental, não há porque imaginar que esse processo de busca não vá tomar em conta, objetivamente, a exploração de trajetórias tecnológicas ligadas a esse 'constrangimento' dos ambientes seletivos. E isto vale tanto para inovações 'end of pipe' como para a geração de tecnologias limpas. A lógica interativa entre meio ambiente e inovação tecnológica, nesta perspectiva, é uma só, independentemente de se tratar de mudanças para reduzir a poluição ou depleção (Romero, 1995:15).

Os autores ressaltam que a incorporação da questão ambiental pelo ambiente econômico seletivo é tendencial. *Isto significa que para os referidos autores, por princípio não existe a hipótese de que o ambiente seletivo venha a compreender a questão ambiental em toda a sua extensão, mesmo porque, isto é incompatível*

<sup>7</sup> Os autores se fundamentaram em: (Nelson & Winter, 1982; Dosi, 1984), (Pavitt, 1984; Dosi et alii, 1990; Bell & Pavitt, 1993); (Penrose, 1971; Chandler, 1962; Teece et alii, 1992; Dosi & Malerba, 1995).

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.**

*el com o modo de produção capitalista. Isto só seria possível quando a atividade econômica passasse a se sujeitar, em primeira instância, às restrições de ordem ecológica. Decorrente disto, na visão dos autores, não ha a instalação de um círculo virtuoso que:*

*"quanto maior a pressão de seleção, mais os agentes responderiam e melhores seriam os resultados para o meio ambiente."(Romero,1995:17).*

Na qualificação da pressão de seleção, os autores entendem que existem dois fatores importantes, a saber: 1) os ambientes seletivos contêm 4 âmbitos de especificidades: dos países, dos setores, das tecnologias e dos ativos. 2) "Timing" de incorporação.

"Do primeiro ponto decorre que os ambientes seletivos não são os mesmos para todos, ao contrário, os agentes econômicos percebem as pressões de formas distintas, segundo seu caso particular. A importância das pressões ambientais diferem nos países, são desiguais nos setores, assumem diferenças segundo o tipo de tecnologias e variam imensamente de acordo com o tipo de produto (alimentos, bens de consumo duráveis, energia, etc).

O grau de percepção do problema, assim como a criação de instituições formais e tácitas que regulam o binômio produção/degradação não apenas variam enormemente segundo as especificidades acima apontadas, mas são função de um certo timing, cuja natureza é também em grande parte decorrente das especificidades (problemas mais ou menos visíveis, mais ou menos prementes), bem como dos avanços na formulação dos problemas e na indicação de soluções. Assim, a interpretação que vimos dando até aqui não significa que ação dos agentes econômicos na busca de inovações mais amigáveis do ponto de vista dos impactos ambientais levará a uma solução do problema. É portanto fundamental interferir na gestão do timing, tendo em conta os vários níveis de especificidades. Como os processos são irreversíveis e as pressões variáveis, o laissez faire dificilmente deixará de provocar o agravamento da degradação ambiental (Romero, 1995:17-18).

Nesta linha de pensamento também estão os autores Cramer e Zegvel que apontam:

O governo pode promover a cleaner technology pela imposição cuidadosa de impostos específicos sobre técnicas, produtos, matérias-primas ou atividades sociais que poluem o meio ambiente. Entretanto, para que sejam efetivos, esses impostos devem satisfazer certas condições. Os impostos devem ser suficientemente altos, devem ser dirigidos para políticas tecnológicas e ambientais de longo prazo e as receitas devem ser empregadas para a promoção de cleaner technology. Essas receitas podem ser utilizadas, por exemplo, para ajudas temporárias para aquelas empresas que estão preparadas para desenvolver ou aplicar novas técnicas de meio ambiente (Cramer,1991:465).

Os autores acima referidos atribuem um papel fundamental à mobilização da opinião pública, particularmente dos consumidores e ambientalistas, para induzir as empresas a ter um comportamento ativo no desenvolvimento das "cleaner technologies" e na política ambiental em geral.

Afirmam os autores que:

Se a preocupação com o meio ambiente continuar a aumentar, os consumidores exigirão padrões crescentemente mais altos de qualidade ambiental dos produtos que compram. De fato, isto pode vir a se tornar um dos meios principais para pressionar a indústria a estimular a produção mais limpa. As empresas que causam muita poluição adquirirão uma imagem ruim, comprometendo as suas chances de sobrevivência. Para atingir uma sociedade sustentável, esta "mobilização" específica da opinião pública é essencial. Por fim, para atingir a reestruturação necessária da nossa economia, o controle governamental centralizado não é suficiente. Soluções estruturais para problemas ambientais demandam um imput ativo do público (Cramer,1991:466).

Em síntese, poderíamos dizer que assumimos este marco teórico porque ele aponta para a importância do contexto histórico, do grau de percepção dos problemas ambientais, da criação de instituições formais e tácitas, da ação do meio social na determinação da adoção de tecnologias, das demandas de natureza ambiental que mudam as agendas de busca por inovações dos agentes econômicos, da questão ambiental que é entendida enquanto uma condição de desenvolvimento industrial moderno, do Estado que tem um papel importante neste processo, da mobilização da opinião pública como fator essencial para se atingir a sociedade sustentável. Nada a ver, portanto, com o individualismo metodológico.

Nesta concepção, a economia ecológica é eminentemente uma economia politizada, pois, assumimos que os limites ecológicos às atividades econômicas serão objetos de debates científico-políticos democráticos.

O debate teórico aqui apresentado neste tópico 3, aponta para as seguintes sugestões de reflexão teórica:

Segundo um marco teórico originalmente elaborado por Karl Marx e posteriormente trabalhado por James O'Connor, o capital apresenta dois tipos de contradição. A primeira delas já sobejamente conhecida é a chamada contradição "capital x trabalho". A Segunda delas se refere a contradição "capital x natureza" onde os ciclos de reprodução se dão em escalas diferentes de tempo, o que aponta para que em determinado momento da história do capitalismo, não haverá mais recursos naturais suficientes para a produção de mercadorias e a reprodução ampliada do capital. Portanto, a Segunda contradição aponta para a escassez de recursos naturais, o que restringiria a produção capitalista.

Esta segunda contradição tem uma relação direta com o desenvolvimento recente das novas tecnologias - biotecnologia e nanotecnologia

A ciência, através da biotecnologia rompeu a barreira do melhoramento genético, que antes era realizado entre os componentes de uma mesma espécie. Com a biotecnologia se rompe a barreira entre as espécies de tal forma que gens de espécies diferentes podem ser incorporados neste processo de melhoramento genético.

Com a nanotecnologia outro avanço científico se dá. Trata-se da possibilidade de se juntar o orgânico com o inorgânico, onde a parte orgânica passa a ser a fonte de energia para a parte inorgânica. A nanotecnologia ao proporcionar a capacidade de manipulação de átomos e moléculas, tem o potencial de produzir infinitas novas composições de átomos e moléculas que poderão materializar infinitos novos materiais e, quando além disto, proporciona também a união entre matéria animada e inanimada, não estaria colocando por terra a segunda contradição (capital x natureza) por terra?

Em síntese, a reflexão teórica que temos que realizar é no sentido de avaliarmos se os recentes avanços científicos e tecnológicos expressados pela convergência tecnológica (biotecnologia, nanotecnologia, tecnologia de informação, cognotecnologia) não suprimem a validade da segunda contradição, a contradição entre capital e natureza.

#### **4 Nanotecnologia, oportunidades tecnológicas e meio ambiente**

É neste contexto teórico sobre as relações entre oportunidades tecnológicas<sup>8</sup> e meio ambiente que vamos refletir sobre as oportunidades em nanotecnologia. Também estarão presentes as contribuições teóricas sobre nanotecnologia que podem ser encontradas em Suchman, M.C. Social Science and Nanotechnology. In Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications. EC-NSF 3rd Joint Workshop on Nanotechnology. Lecce, Italy, 31 January - 1 February, 2002.

De maneira geral se aponta para que a nanotecnologia irá proporcionar um menor uso de matérias primas e energia para a realização dos mesmos processos e produtos já conhecidos. Claro que fazer as mesmas coisas com menor uso de matérias primas e energia é muito bom para o planeta que habitamos e para os diversos ecossistemas naturais.

Mas é preciso que tenhamos claro que há dois tipos de nanotecnologia do ponto de vista de seus impactos. Em primeiro lugar temos as nanotecnologias que promovem inovações incrementais. Estas são tecnologias que manipulam estruturas em nanoescalas de substâncias em macro escalas, ou dito de outra forma, substâncias em macroescalas que são manipuladas por tecnologias que interferem em suas nanoestruturas. Aqui podem ser citados nanomateriais ligados a engenharia química e de materiais. Exemplos de aplicações são os polímeros, membranas ultrafinas, etc.

Neste caso, já temos experiências em como trabalhar em termos de países, setores industriais, das tecnologias e dos ativos, bem como, em termos de timing de incorporação.

Trata-se de detalhar isto na política industrial - parte relativa a nanotecnologia - indicando também seus instrumentos junto a esta política. Isto também deve ser feito junto ao Programa Nano Brasil de Nanociência e Nanotecnologia.

Cabe ressaltar que a sociedade já tem experiência previa com inovações tecnológicas incrementais e que isto serve para que tenhamos uma base mais sólida para a solução de problemas decorrentes destas inovações incrementais, inclusive as advindas da nanotecnologia.

Em segundo lugar temos as inovações revolucionárias promovidas pela nanotecnologia. Estas compreendem as tecnologias que controem mecanismos em nanoescalas para serem usados em ambientes de macroescala. Estão vinculadas às nanomáquinas e as áreas de engenharia mecânica e da robótica. Como exemplo podemos citar sistemas de vigilância em miniatura, já utilizados por exemplo na guerra do Iraque, materializado em aviões não tripulados, manipulados desde a Califórnia/USA.

Neste campo não temos experiência em termos de como trabalhar em termos de países, setores industriais, das tecnologias e dos ativos, bem como, em termos de timing de incorporação.

<sup>8</sup> O entendimento sobre o significado desta expressão encontra-se descrito no início do tópico 3, pag 12

Na implementação das inovações incrementais da nanotecnologia deveremos observar as seguintes características:

- a) O tempo e ambiente em que ocorrem é de suma importância e são definidos politicamente;
- b) Afetam tanto a indústria como a grande política;
- c) Diferenças entre discontinuidades prévias (inovação incremental decorrentes de outras tecnologias) e as decorrentes da nanotecnologia são apenas de níveis;
- d) As transformações nas indústrias serão sempre forçadas e de risco, porém, já observadas em outras ocasiões;
- e) As políticas serão destinadas a produtos particulares e não a nanotecnologia em si;
- f) Estudos e propostas de políticas serão elaboradas caso a caso;
- g) Os efeitos serão semelhantes ao semicondutores, polímeros sintéticos, telecomunicação sem fio, etc.

No que toca a implementação das inovações revolucionárias advindas da nanotecnologia devemos observar as seguintes características:

- a) Irão confrontar a sociedade com questões políticas profundas, sem precedente, ao permitir que humanos manipulem o mundo em dimensão nunca vista;
- b) As nanomáquinas abrem uma nova fronteira em que não há regulação para se tornar segura e produtiva essa atividade;
- c) Apresentam qualidade e propriedade distintas, que irão gerar novas questões de responsabilidade e controle que estão ligadas a três itens: invisibilidade, locomoção e auto-replicação;
- d) Se faz necessário repensar as bases legais e as estruturas normativas da sociedade. Três aspectos são importantes: monitoramento, propriedade e controle.

## 5 Sociedade sustentável e nanotecnologia

Dois são os pressupostos desta reflexão. O primeiro deles se refere a que a meta a ser atingida é a sociedade sustentável, caracterizada grosso modo como uma sociedade não capitalista, em que a questão ambiental é entendida como um fator de restrição de primeira ordem as atividades econômicas. O segundo pressuposto é que a sociedade sustentável será necessariamente uma sociedade democrática, fundada em uma nova cidadania, de caráter radical, pois esta será o produto da constituição de sujeitos sociais ativos, que levam a construção da referida cidadania "de baixo para cima" com a participação direta dos setores excluídos, exigindo o "direito de ter direitos".

Entre os direitos a ter direitos pelos quais os movimentos sociais lutam e criam novos direitos, encontram-se os relativos a vida, ao meio ambiente e ao trabalho, que se apresentam devidamente entrelaçados, pois não é possível a existência de vida sadia em meio ambiente degradado, como também ambiente degradado significa a impossibilidade de populações trabalharem.



Assim, devemos ter claro que todas as ações que comprometem as condições ambientais de existência e de trabalho das populações, como por exemplo os diversos tipos de poluição, atentam contra direitos ambientais de indivíduos e coletividade.

Portanto, trata-se de entender que a crise ambiental produzida por este modelo insustentável de desenvolvimento é a manifestação de conflitos sociais que tem a natureza por base, e que quando esta se torna explícita exprime a consciência de que um direito ambiental foi ameaçado.

Essa nova ordem de valores aponta para a introdução de princípios democráticos nas relações mediadas pela natureza. Esses princípios democráticos são assim descritos por Acsehrad: "a igualdade no usufruto dos recursos naturais e na distribuição dos custos ambientais do desenvolvimento; a liberdade de acesso aos recursos naturais, respeitados os limites físicos e biológicos da capacidade de suporte da natureza; a solidariedade das populações de compartilharem o meio ambiente comum; o respeito a diversidade da natureza e aos diferentes tipos de relação que as populações com elas estabelecem; a participação da sociedade no controle das relações entre os indivíduos e a natureza" (Acsehrad, 1992:19)

Na medida em que tais princípios sejam observados e tenhamos clareza de que o meio ambiente é o suporte natural de vida e do trabalho das populações, estaremos restringindo de forma mais consequente a degradação do meio ambiente e, por conseqüência, assegurando os direitos dos cidadãos a vida e ao trabalho.

Por outro lado, é essa nova cidadania que irá interferir na constituição do ambiente econômico que levará a que o interesse pela busca de inovações e pela construção de trajetórias que incluam a questão ambiental se torne um resultado lógico da incorporação destas (inovações e trajetórias) pelos ambientes seletivos.

## 6 Conclusões preliminares

Embora a literatura aponte para o que já foi especificado neste trabalho, ou seja, com a nanotecnologia poderá realizar processos e produtos já conhecidos com menos matéria prima e energia, é preciso analisar isto para as inovações incrementais e para as inovações revolucionárias. A partir do marco teórico especificado no item nanotecnologia e oportunidades tecnológicas deve-se refletir sobre como agir para que as inovações incrementais e revolucionárias tornem-se uma "restrição direcional" para que as empresas em seus processos de busca e seleção de novas tecnologias adotem aquelas que sejam ambientalmente corretas.

Também é preciso analisar as inovações nanotecnológicas em relação a questão da sustentabilidade do planeta como um todo e/ou com relação a um ecossistema específico. Isto se faz necessário para que possamos dimensionar a "mochila ecológica" que leva consigo um determinado produto que contenha componentes nanotecnológico. Exemplo disto é um chip de micro computador que carrega consigo uma "mochila ecológica" de 20k. Seria este processo sustentável do ponto de vista ambiental para determinado ecossistema natural ou para o planeta como um todo?

**E**STUDIOS **S**OCIALES

Na medida que no caso da nanotecnologia o tamanho da partícula importa, pois, um mesmo elemento químico em dimensões macro tem comportamentos (físico, químico, elétrico, etc) distintos quando se encontra em tamanho nano, por isto, aquilo que já sabemos sobre as interações entre um elemento químico e o meio ambiente, não podem ser transpostos mecanicamente para caso das nanopartículas de um elemento químico e suas interações com o meio ambiente. As pesquisas sobre os impactos das nanopartículas no meio ambiente estão se iniciando em ritmo de tartaruga, não há ainda qualquer estudo conclusivo para qualquer elemento químico. Portanto, aqui trata-se de aplicar o princípio da precaução, antes de mais nada, e exigir que sejam desenvolvidas de forma concomitante pesquisas que levem a inovações tecnológicas advindas da nanotecnologia e pesquisas que levem a estudos toxicológicos e ecotoxicológicos devido ao uso e disposição destas nanopartículas nos ecossistemas naturais.

## Bibliografía

- Alier, J. M. (1995) *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Montevideo, Ed. Nordan-Comunidad.
- Almeida, L. (1994) "T. Instrumentos de Política Ambiental: Debate Internacional e Questões para o Brasil". Campinas, IE/Unicamp, dissertação de mestrado.
- Acselrad, H. (1992) *Meio Ambiente e Democracia*. Rio de Janeiro, IBASE, pp19
- Comissão Européia. Nanotecnologias, (2004) *Inovações para o Mundo de Amanhã*. Direção Geral de Investigação, Bruxelas.
- Cramer, J. & Zegveld, W.C.L. (1991) "The Future Role of Technology in Environment Management". *Future*, vol. 23, n.5, p.465
- Elster, J. M. (2005) "Hoje". São Paulo, Ed. Paz e Terra, 1989, Grupo ETC. Nanotecnologia. Os Riscos da Tecnologia do Futuro. L&PM Editores . Porto Alegre.
- Martins, P. R. (coord), (2005) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*. Associação Editorial Humanitas, São Paulo.
- (coord), (2006) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*. Trabalhos apresentados no segundo seminário internacional. São Paulo, Xama Editora.
- (coord), (2007) *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal*. São Paulo, Xama Editora.
- (coord) (2007) *A Revolução Invisível: Desenvolvimento Recente da Nanotecnologia no Brasil*.
- Marx, K. O, (1983) *Capital*. Livros I, II e III. Sao Paulo, Abril Cultural.
- O'connor, J. (1998) *Natural Causes: Essays in Ecological Marxism*. New York, The Guilford Press.
- Romero, A. Salles F. S. (1995) "Dinâmica de Inovações sob Restrições Ambientais". *Campinas*, I Seminário de Economia do Meio Ambiente do Instituto de Economia da Unicamp, mimeog
- Suchman, M.C. (2002) "Social Science and Nanotechnology", en *Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications*. EC-NSF 3rd Join Workshop on Nanotechnology. Lecce, Italy, 31 January - 1 February
- The Royal Society. (2004) *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Incertainties*. The Royal Society Publications. London.
- Wood, S. et al. (2003) *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology*. ESRC, London.

