

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO  
MESTRADO EM DIREITO

**NANOTECNOLOGIA, AMBIENTE E DIREITO: DESAFIOS PARA A  
SOCIEDADE NA DIREÇÃO A UM MARCO REGULATÓRIO**

RAFAEL LUIZ FERRONATTO

Caxias do Sul  
2010

RAFAEL LUIZ FERRONATTO

**NANOTECNOLOGIA, AMBIENTE E DIREITO: DESAFIOS PARA A  
SOCIEDADE NA DIREÇÃO A UM MARCO REGULATÓRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Direito como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Direito Ambiental e Sociedade. Linha de pesquisa: Direito Ambiental e Novos Direitos.

**Orientador:** Prof. Dr. Leonel Severo Rocha

Caxias do Sul/RS  
2010

Rafael Luiz Ferronato

## **NANOTECNOLOGIA, AMBIENTE E DIREITO: DESAFIOS PARA A SOCIEDADE NA DIREÇÃO A UM MARCO REGULATÓRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Direito como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Direito Ambiental e Sociedade. Linha de pesquisa: Direito Ambiental e Novos Direitos.

---

Orientador: Prof. Dr. Leonel Severo Rocha

---

Prof. Dr. Wilson Engelmann – UNISINOS

---

Profa. Dra. Raquel Fabiana L. Sparemberger

---

Profa. Dra. Maria Cláudia Crespo Brauner

Caxias do Sul  
2010

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus; à minha esposa Maristela Baseggio; aos meus pais Jenilde e Pedro; ao meu irmão Maicon, por compreenderem a minha ausência durante a sua realização.

1 - SÓ POR HOJE, NÃO SE ZANGUE.

2 - SÓ POR HOJE, NÃO SE PREOCUPE.

3 - SÓ POR HOJE, EXPRESSE SUA GRATIDÃO.

4 - SÓ POR HOJE, SEJA APLICADO EM SEU  
TRABALHO.

5 - SÓ POR HOJE, SEJA GENTIL COM OS OUTROS.

(PRINCÍPIOS DO REIKI)

## RESUMO

A nanotecnologia inaugura uma nova era de convergência tecnológica sem precedentes na História da sociedade humana, uma vez que suas ramificações estão presentes na maior parte das ciências e estabelecem novas formas de comunicação. Analisar nanopartículas é estar diante de algo impensável, pois todo conhecimento científico adquirido não serve de parâmetro, uma vez que a dimensão influencia diretamente os nanoelementos. Assim mesmo uma pequena diferença de dosagem pode ser letal ao ser humano, enquanto na medida certa faz a ficção científica tornar-se realidade. A proposta é observar a transdisciplinaridade e interdisciplinaridade das operações envolvendo a nanotecnologia e a sociedade em meio às imbricações da economia/avanço tecnológico, avanço tecnológico/consumo, consumo/meio ambiente, nanotecnologia/direito. Para a ciência, a nanotecnologia surge como uma medida padrão, enquanto a mesma surge como mecanismo de poder na comunicação econômica. Indaga-se: A onda nanotecnológica é o único meio capaz de elevar os padrões de vida humana em todos os sentidos, diante da falta de pesquisas conclusivas? As ideias apresentadas tentam buscar mecanismos de redução da complexidade. A contingência envolvendo o desenvolvimento da nanotecnologia e a gestão dos riscos para a vida humana e o meio ambiente faz com que o direito seja o acoplamento estrutural que mediará a relação entre os sistemas envolvidos. Posições progressistas e que buscam a precaução são confrontadas e possibilitam ao observador formar uma consciência crítica em relação à matéria. São apresentados diversos documentos/relatórios nacionais e de âmbito internacional, que buscam reduzir a complexidade da nanotecnologia. São abordadas normas legais nacionais e de âmbito internacional, que possam ser aplicadas por meio da analogia no ordenamento jurídico pátrio, referente ao tema. Sob a observação de segunda ordem, proposto pela teoria dos sistemas autopoieticos de Niklas Luhmann, é possível interligar a nanociência com a realidade social, de modo a construir uma nova visão social, a partir de uma ruptura epistemológica.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia. Complexidade. Risco. Sistemas Sociais. Direito.

## ABSTRACT

Nanotechnology launches a new era of technological convergence without ancestors from the human society history, whether its branches are placed in the majority of sciences and establishes new ways of communication. Analyze nanoparticles is being in front of something thoughtless because all scientific knowledge acquired is not the parameter, because the dimension has directly influence in nano elements, so a small difference in dose can be lethal for humans while a right one makes the fictional science becomes real. The purpose is to observe transdisciplinarity and interdisciplinarity of operations involving nanotechnology and the society into the imbrications of economy/technological advance, technological advance/consumption, consumption/environment, nanotechnology/normative systems. To the science, nanotechnology arises like a standard of measurement, while it arises like a power mechanism in economic communication. Nanotechnological wave is inquired as the unique capable form to elevate human life standards in all meanings behind the lack of conclusive researches. The ideas shown try to find ways to reduce complexity? The contingency involving the development of nanotechnology and management risk to human life and environment makes the normative systems be a structural linkage that will mediate the relationship between the systems involved. Progressist positions that seek precaution are confronted giving the possibility to the observer form one critic awareness in relation to the subject. Several national documents/reports and of international ambit are shown. They seek complexity reduction involving nanotechnology. National normative systems and of international ambit can be applied beyond disposable native judicial referred to the topic. According to the second order observation proposed by the theory of autopoiesis systems by Niklas Luhmann, it is possible to link nanoscience to the social reality in the way to build a new social view from an epistemological rupture.

**Keywords:** Nanotechnology. Complexity. Risk; Social System. Normative Systems.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 EVOLUÇÃO DA NANOTECNOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Campos de ação</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.1 Nanotecnologia e a questão militar</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.2 Nanomedicina</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.3 Aplicações da nanotecnologia na agricultura</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.4 Nanocommodities</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2 Construção epistemológica</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3 Euforia científica e mercado tecnológico</b> .....	<b>34</b>
<b>3 RISCOS SOCIAIS NANOTECNOLÓGICOS E A PRECAUÇÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1 Complexidade, sistemas e desenvolvimento</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2 Riscos tecnológicos</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2.1 Elementos teóricos e riscos da nanotecnologia</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2.2 Nanotecnologia e meio ambiente</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3 Princípio da precaução e nanotecnologia</b> .....	<b>62</b>
<b>4 COMUNICAÇÃO TECNOLÓGICA E SISTEMA DO DIREITO</b> .....	<b>69</b>
<b>4.1 (Inter)Relações entre direito e nanotecnologia</b> .....	<b>69</b>
<b>4.2 Regulamentação da nanotecnologia</b> .....	<b>73</b>
<b>4.2.1 Direito do consumidor e nanotecnologia</b> .....	<b>76</b>
<b>4.2.2 Direito sanitário, direito da alimentação e nanotecnologia</b> .....	<b>78</b>
<b>4.2.3 Direito do trabalho e nanotecnologia</b> .....	<b>80</b>
<b>4.2.4 Direito ambiental e nanotecnologia</b> .....	<b>84</b>
<b>4.2.5 Normas sobre patentes e nanotecnologia</b> .....	<b>85</b>
<b>4.2.6 A regulamentação nos relatórios internacionais</b> .....	<b>90</b>
<b>4.3 (Auto)Regulação da nanotecnologia</b> .....	<b>93</b>
<b>4.4 Criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia</b> .....	<b>98</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>104</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Para a maioria dos pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento a nanotecnologia será a responsável por um salto tecnológico nunca alcançado pelo ser humano, uma nova revolução industrial do saber. Assim, verifica-se um otimismo crescente com o desenvolvimento de pesquisas. Mas vai-se além, pois realizar uma pesquisa e escrever sobre ela é algo natural a quem faz parte da comunidade acadêmica. Contudo, “desbravar” uma fronteira totalmente desconhecida na área acadêmica, em que há o desenvolvimento de um projeto de vida e se busca as melhores ferramentas e métodos de como “conceber” esse novo saber, é algo impossível de descrever, pois exige mais do que a utilização de métodos e conceitos definidos, exige estar disposto a romper com muitos paradigmas incrustados na bagagem de formação que todos carregam consigo.

Ocorre que, na visão tradicional linear, em que se visualiza somente o resultado final de algo, esse viés, adotado normalmente por aqueles que buscam no lucro a resposta para o desenvolvimento de tecnologias de ponta, a nanotecnologia tem um potencial imensurável. Contudo, o enfoque que será adotado na presente dissertação é de uma visão sistêmica, com a qual são abordadas as interações que a nanotecnologia terá com diversos sistemas sociais.

Estar-se-á diante de um problema: debater sob quais condições e que impactos decorrem da nanotecnologia, bem como onde poderá haver integração entre essa nova tecnologia e os demais sistemas do seu entorno. Isso pressupõe o entrelaçamento entre diversas áreas (a constituição de acoplamentos estruturais), sob uma mesma base autorreferencial. Partindo dessa forma de discussão, torna-se possível perguntar: Quais serão os impactos da nanotecnologia à sociedade? Quais serão as repercussões desses impactos nas diversas áreas do conhecimento? Existe um marco regulatório eficiente para delimitar as implicações decorrentes dos riscos que envolvem o avanço tecnológico?

Observar essas questões que englobam o acelerado desenvolvimento tecnológico impõe a necessidade de buscar a “atual” dimensão tecnológica alcançada pela nanotecnologia, bem como analisar as formas de interação dessa nova tecnologia, com sistemas como: governança, aspectos jurídicos, medicina, meio ambiente, agricultura, entre outros. Busca-se também a melhor forma de

estabelecer delimitações para o desenvolvimento científico, sem negligenciar os riscos advindos dessa expansão.

A colocação do problema das delimitações e dos impactos da nanotecnologia, a partir de um nível de abstração teórica, tem a vantagem de permitir uma análise mais abrangente da dinâmica tecnológica mundial.

Nessa perspectiva, o objetivo geral deste estudo será a análise de como a nanotecnologia vai interagir com outros sistemas vigentes e descrever as condições sob as quais essa nova forma tecnológica irá se constituir, além de buscar a melhor forma de gestão dos riscos (regulação, regulamentação ou um sistema de normas internacionais).

No campo da comunicação jurídica, será realizada a avaliação das possibilidades e dos limites apresentados por instrumentos normativos atuais (declarações, convenções, tratados, normas, resoluções), que protejam a saúde humana e o meio ambiente, nos diversos desdobramentos dos subsistemas jurídicos (Direito do Consumidor, Direito Sanitário, Direito da Alimentação, Direito do Trabalho, Direito Ambiental, Normas sobre patentes).

Longe de uma apreciação ingênua da questão técnica, a nanotecnologia será analisada como um sistema e, a partir dele, são abordados desdobramentos, com a pretensão de visualizar novos paradigmas: *nanocommodities*, riscos, precaução.

O grande desafio será pensar em marcos regulatórios eficazes e que, ao mesmo tempo sejam sensíveis ao contínuo avanço tecnológico sustentado pela nanotecnologia.

Para serem atingidos os objetivos, a pesquisa utilizará como método a observação de segunda ordem da teoria dos sistemas sociais autopoieticos de Niklas Luhmann. Dessa maneira inaugura-se uma nova forma de cognição da realidade fática, através de sua capacidade de observação comunicativa entre os vários sistemas existentes.

Diante da escassa literatura nacional acerca da nanotecnologia, tanto na área social, principalmente nas questões de implicação jurídica, grande parte da pesquisa será embasada em fontes bibliográficas internacionais, constantes em documentos, relatórios, declarações a respeito da nanotecnologia. Dado o desafio de fundamentar a pesquisa sobre uma visão sistêmica, o estudo não fica restrito à literatura jurídica, mas recorre a outras áreas do conhecimento, tais como Saúde,

Engenharia, Medicina, Sociologia, Geopolítica. A transdisciplinaridade é imprescindível para o desenvolvimento da pesquisa, pois aponta, de forma crítica e fundamentada, os resultados do tema. A análise de leis, normas, resoluções atinentes ao tema será necessária, para que se conheça a atual situação da legislação, em caso de necessidade de sua utilização, envolvendo a nanotecnologia, dada a completa inexistência de material jurídico que tenha sido demandado nos tribunais nacionais.

No primeiro capítulo serão abordados os campos de ação que dizem respeito à nanotecnologia, bem como observar-se-á o seu desenvolvimento na sociedade; serão apresentados elementos marcantes de sua potencial e atual aplicação, bem como suas possíveis implicações em áreas como: militar, da medicina, da agricultura, das *commodities*. Além de uma construção epistemológica acerca do tema, será analisada a euforia científica e do mercado nanotecnológico.

Os riscos e as precauções nanotecnológicos atinentes ao meio ambiente serão enfrentados no segundo capítulo, que guiará a pesquisa através da análise da complexidade e dos sistemas, na busca de modelos de redução dessa complexidade. A pesquisa que envolverá a gestão dos riscos tecnológicos será abordada a partir de elementos constitutivos do mesmo e com base em diversos documentos internacionais. Considerando o grave dilema que esses riscos apresentam para a sociedade e para o próprio desenvolvimento da nanotecnologia, o princípio da precaução foi definido como marco da análise desses elementos.

No terceiro capítulo será proposta a busca pela definição de qual seria a melhor forma de definição dos critérios de gestão dos riscos ocasionadas pela nanotecnologia. Essa abordagem buscará identificar a comunicação tecnológica com o sistema do Direito, através das interrelações entre o Direito e a nanotecnologia e, também, observar normas de conduta não jurídicas, como elementos balizadores na direção da delimitação da nanotecnologia na sociedade. No tocante à legislação que será abordada nesse capítulo, o objetivo será demonstrar quais leis (temporariamente), até que haja uma legislação específica, poderão servir de suporte, em caso da necessidade de uma demanda judicial referente à nanotecnologia.

Importante ressaltar que o método de pesquisa utilizado com base na Teoria dos Sistemas de Niklas Luhmann ainda é demasiadamente recente para poder haver um controle efetivo na forma como vem sendo realizado, de acordo com o

próprio Luhmann (2002). Como ponto de defesa de sua utilização, cabe salientar que a visão sistêmica, diante das pesquisas realizadas até o momento, consistirá na teoria que melhor responderá aos anseios envolvendo a nanotecnologia, pois a sua lógica autopoietica traduz o que não é possível de se analisar no viés linear, ou seja, estabelecer operações de comunicação entre os diversos sistemas sociais, mantendo sua base autorreferencial.

## 2 EVOLUÇÃO DA NANOTECNOLOGIA

### 2.1 Campos de ação

Com base no levantamento histórico de Durán, Mattoso e Moraes (2006, p. 14-17), desde a Antiguidade, o homem já se preocupava em tentar compreender o comportamento da matéria que constitui os corpos, por meio de especulações filosóficas. Aristóteles acreditava que a matéria poderia ser dividida indefinidamente sem qualquer limite; entretanto, somente Leucipo (440 a.C.), outro filósofo grego, foi quem propôs que a matéria era constituída por pequenas unidades indivisíveis, às quais seu discípulo Demócrito chamou de átomo (do grego, “indivisível”).

Essa teoria continuou por séculos sem comprovação até que em 1803 o químico e físico inglês, John Dalton, apontou para o fato de que os componentes químicos, sempre que combinados em proporções adequadas, poderiam ser explicados pelo agrupamento de átomos que formam unidades maiores denominadas moléculas. A teoria atomística, entretanto, ganhou mais crédito a partir de 1905, devido ao trabalho de Albert Einstein, que explicou o motivo browniano, como sendo oriundo de colisões entre átomos. (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 15).

Em 1911, baseando-se nos experimentos do físico inglês Joseph J. Thomson, realizados alguns anos antes, que demonstravam a existência de uma partícula subatômica denominada elétron  $e$ , com massa inferior a um milésimo a do átomo mais leve, o físico Ernest Rutherford demonstrou que os átomos têm uma estrutura interna, ou seja, não são indivisíveis. Segundo essas descobertas, os átomos são formados por um núcleo extremamente pequeno, carregado positivamente, em torno do qual gira certo número de elétrons. Em 1932, um colega de Rutherford descobriu ainda que o núcleo era formado por partículas de carga positiva, denominadas prótons, e de nêutrons, que são as partículas com quase a mesma massa dos prótons, mas sem carga elétrica. (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 15).

A corrida em direção às partículas elementares não parou por aí. Na década de 60, o físico Murray Gell-Mann descobriu que os prótons e nêutrons não eram

partículas “elementares”, mas que, quando colidiam entre si ou com elétrons, produziam partículas ainda menores denominadas *quarks*.

A preocupação da ciência em se aprofundar em relação aos elementos que constituem a matéria, para, a partir desses elementos, poder compreender e controlar seu comportamento macroscópico, e de grande parte do conhecimento científico atual ser proveniente do conhecimento que vem se acumulando ao longo dos séculos, a manipulação de átomos/moléculas individuais em escala nanométrica – a nanomanipulação – é uma ideia relativamente recente, que somente ganhou maior consistência a partir de uma palestra proferida na *American Physical Society*, em dezembro de 1959, por Richard Feynman, um dos mais renomados cientistas do século XX e ganhador de dois prêmios Nobeis.

Nessa palestra, Feynman (apud LIMA, 2009, p. 124) demonstrou que não há razões físicas que impeçam a fabricação de dispositivos por meio da manipulação dos átomos individuais. Ele propôs ainda que essa manipulação não só era perfeitamente possível, como também inevitavelmente resultaria na fabricação de dispositivos úteis para todos os campos do conhecimento.

A palavra usada para denominar essa ciência em nanoescala, sugerida por Feynman, ou mais precisamente, o termo *nanotecnologia*, surgiu apenas em 1974, quando um pesquisador Norio Taniguchi fez distinção entre engenharia em escala micrométrica e o novo campo da engenharia, em escala submicrométrica, que estava começando a emergir.

Avanços significativos em nanotecnologia não foram notados até o início da década de 80, devido à ausência de novos instrumentos que permitissem a nanomanipulação, como, por exemplo, os microscópios de varredura por sonda (SPM), de varredura por tunelamento (STM), de campo próximo (NFM) e de força atômica (AFM). Esses instrumentos vêm promovendo os *meios* necessários para medir e manipular materiais em escala nanométrica.

Em 1986, Richard Smalley, da Universidade de Rice, descobre uma nova forma de blocos de construção, os fulerenos *buckminster* ou *buckyballs*, que por sua vez conduziram à descoberta dos nanotubos de carbono em 1991, por Sumio Iijima.

De acordo com o Grupo ETC (2004, p. 59-60), a descoberta dos nanotubos *buckyballs* continua sendo importante, pois essas moléculas têm propriedades únicas, com grande utilização comercial. Nanotubos são cem vezes mais fortes do

que o aço e seis vezes mais leves, além de conduzirem eletricidade melhor do que o cobre e agirem como semicondutores.

Ainda sobre os *buckyballs*, eles são moléculas constituídas apenas por átomos de carbono, sendo uma das três formas cristalinas desse material: grafite e diamante são as outras duas formas. Sua característica é de esferas redondas, feitas com sessenta átomos arranjados como pentágonos ou hexágonos, os quais constituem a superfície de uma bola de futebol. A sua importância está em exibir características que os tornam ideais para a variedade impressionante de utilização, da construção espacial e fabricação de automóveis e eletrônicos – incluindo transistores e células de combustíveis – a biosensores e distribuição de medicamentos.

A nanotecnologia oferece um novo paradigma para a manufatura de materiais utilizando a manipulação em escala submicrométrica, com o objetivo de criar dispositivos a partir de unidades estruturais fundamentais ou blocos de construção. Uma vez que seja possível o controle das características de tamanho, será também possível melhorar as propriedades dos materiais e, conseqüentemente, as funções dos dispositivos. A possível redução de maneira controlada das dimensões das estruturas, até alcançar dimensões nanométricas, conduzirá a propriedades únicas, que com certeza serão precursoras de uma idade revolucionária para a ciência e tecnologia.

Para Merkle (2010), do *Foresight Institute*, a fabricação tecnológica da nanotecnologia segue três objetivos:

- 1) Posicionar essencialmente cada átomo em seu devido lugar.
- 2) Fazer com que quase qualquer estrutura seja consistente com as leis da física e da química permitindo especificá-la com detalhe atômico.
- 3) Ter custos de fabricação que não excedam largamente os custos da matéria-prima e energia necessários.

Os possíveis benefícios da nanotecnologia são difíceis de calcular. Dessa forma, Lopes Júnior (2006, p. 148) afirma que práticas cujos temas e produtos são sempre autorreferenciais, fazem com que as ciências sociais sintam-se ameaçadas por realidades nas quais a complexidade que se avizinha não é mais apreendida por meio dos esquemas mentais aos quais fomos nos conformando pela força inercial do *habitus* acadêmico.

Assim, quando se aproxima do emergente campo da nanotecnologia, não raro busca-se enfrentar o desafio de produzir narrativas significativas recorrendo aos velhos instrumentos. Desse modo, produzem-se questões sobre efeitos, impactos e riscos, como se fosse possível mobilizar o idioma social para tratar dessa nova tecnologia.

### **2.1.1 Nanotecnologia e a questão militar**

De acordo com Relatório do Fundacentro (2008, p. 42-43), algumas áreas potencialmente militares para a nanotecnologia são: mensagens seguras por meio de criptografia quântica; armas inteligentes, completamente autônomas, de curto e longo alcance; equipamento militar de autorreparação; redes globais de informação através de computação quântica; bateria em miniatura de alta energia e suplemento de energia; e sensores biológicos e químicos altamente sensíveis em miniaturas.

Segundo Lima,

a maioria das nações desenvolvidas possui centros de pesquisas pura, aplicadas e experimentais, dedicados a nano-fabricação, tais como o processo de miniaturização mecânica, criado a cerca de alguns anos atrás, nos Estados Unidos, que certamente irão além das inovações provocadas pela revolução industrial da mecânica e da informática juntas, ocorridas em séculos anteriores. E tudo isto em um período de tempo severamente mais curto e com muito mais eficiência. (2009, p. 156).

O capitão da Marinha Americana, Vandermolen (2005), enumera no documento “Estratégia de Defesa nacional dos Estados Unidos da América”, referente à “Nanotecnologia Molecular e Segurança Nacional”, uma série de riscos/ameaças diretos, classificados da seguinte maneira:

– Corrida armamentista entre os Estados: o uso negativo das nanotecnologias representará a maior ameaça direta à segurança nacional, pois a manufatura molecular permitirá a criação de qualquer arma; se estiver ligada à base econômica de um Estado, haverá como resultado uma inundação de equipamentos militares *inteligentes* nunca antes visto, pois o período de construção seria drasticamente



reduzido. Como exemplo, cita “armas com o vírus da varíola manipulado para matar apenas pessoas com determinados traços genéticos”, ou seja, armas eugênicas;

– Corrida armamentista baseada em pessoas: a manufatura pessoal das nanotecnologias permitiria o deslocamento de governos para pequenos grupos ou até indivíduos. O autor cita o cofundador e principal cientista da *Sun Microsystems*, que denominou essa capacidade tecnológica como “destruição em massa capacitada pelo conhecimento”, como referência cita alguns *hackres* que desenvolvem vírus de computador nocivos, apenas por prazer, “não é um salto conceitual grande demais imaginar que ‘nano-hackers’ pudessem decidir fazer o mesmo com vírus reais”;

– Vigilância: uma aplicação pouco onerosa seria a microvigilância, pois a produção em massa desses sensores poderia ser usada para cobrir grandes áreas, e podendo ser utilizada contra qualquer grupo de pessoas, arguindo questões de privacidade e legalidade;

– Danos ao meio ambiente: especula-se que a manufatura de nanopartículas cause uma grade de subprodutos descartáveis na cadeia de produção, cujos efeitos não são conhecidos. Esse *nanolixo* é suficientemente pequeno para se introduzir naturalmente nas células vivas, e levanta a possibilidade de envenenamento dos seres vivos.

Referindo a respeito da utilização da nanotecnologia na área militar, Altmann (2006, p. 35-41) estabeleceu diretrizes a serem analisadas.

Inicialmente discorre sobre a diferença entre inovação militar e civil; afirma que os militares são fortes em alta tecnologia e, por meio da alta tecnologia, o que vem ocorrendo é que a passagem da tecnologia militar para a civil está diminuindo e assumindo o caminho oposto. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos é o segundo maior beneficiário do financiamento do governo para pesquisas em nanociência. (GRUPO ETC, 2004, p. 120).

Hoje em dia, os militares estão mais ‘dependentes’ de tecnologias já desenvolvidas, se aplicado, principalmente, na área da computação. Esse efeito decorre do fato de os militares exigirem requisitos extremos em seus desenvolvimentos: aviões que têm que fazer curvas rápidas; que têm que sobreviver contra tiros; que precisam ter assento ejetável para o piloto. Nada disso é necessário à aviação civil, daí o alto custo do desenvolvimento tecnológico militar.

Posteriormente, a análise refere-se a uma visão sobre pesquisa e desenvolvimento na área da nanotecnologia, que está se expandindo principalmente em universidades americanas e pelo *Institute for Soldier Nanotechnologies* (ISN), criado pelo exército americano no Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 2002.

Segundo o Grupo ETC (2004, p. 120), o exército americano trabalha com parceiros na indústria de defesa e realiza pesquisas atômicas, principalmente para melhorar a proteção e sobrevivência dos soldados em campo de batalha. Visa, além da saúde, a melhorar o desempenho e a performance dos soldados. Eles seriam nanoequipados, com habilidades, por exemplo, de pular por cima de grandes obstáculos (sapatos equipados com ‘pacotes’ de força embutidos), de lutar com membros artificiais que serão mais fortes do que os músculos humanos, usar uniformes que os tornarão *invisíveis* (Nanocamo: uniformes tipo camaleão, feitos com nanomateriais para deixar os soldados na textura do ambiente). O desenvolvimento de uma armadura denominada *exoesqueleto*, que não é somente à prova de balas, como também se transforma num gesso rígido para tratar fraturas. Além das *venezianas* em escala molecular, feitas para proteger os olhos dos soldados da cegueira por *laser*; sensores miniaturizados para detecção de armas químicas, biológicas ou explosivas em campo de batalha.

No que se refere aos nanossensores (GRUPO ETC, 2005, p. 79), o governo americano tem um projeto denominado “SensorNet”, que tem por objetivo lançar uma rede de sensores em todo o território norteamericano, que funcionará como um sistema rápido de alerta ante ameaças químicas, biológicas, radiológicas, nucleares e explosivas. A SensoNet integrará sensores nano, micro e convencionais em uma única rede, que dará *feedback* dos dados a uma rede existente de 30 mil antenas de telefones celulares, e que forma a estrutura de uma rede nacional de inteligência de vigilância sem precedentes. De acordo com a *Oak Ridge National Laboratory*, a rede já está em fase de teste de campo, sob a supervisão dos laboratórios de defesa americanos, tais como *Los Alamos* e *Sandia*.

Altmann (2006, p. 37) assevera que a eficiência desses mecanismos militares ainda não está clara, pois talvez sejam frágeis demais; talvez não deem respostas esperadas, mas, pelo menos, a pesquisa já está avançada e em fases de teste em muitas áreas. E continua aduzindo que existem também problemas com implantes e manipulação de corpos, pois o uso militar pode criar um precedente para

que implantes sejam feitos. Dessa forma, é necessário que a sociedade venha a saber e a debater sobre o que permitir ou não permitir; isso pode acontecer com pequenos satélites ou pequenos lançadores de foguetes, por exemplo; tudo isso pode gerar uma grande desestabilidade global.

### **2.1.2 Nanomedicina**

São impossíveis de calcular os benefícios da nanotecnologia, principalmente na *nanomedicina*. Reportando algumas referências à área da saúde, pode-se referir o aumento da qualidade de vida e sua duração, através de nanossensores incorporados ao próprio organismo e que viajam pelo mesmo como se fossem vírus pelo sangue, onde poderão detectar doenças antes que se expandam, para combatê-las eficazmente. As drogas deixariam de ser genéricas para assumirem fins específicos contra enfermidades, de acordo com a composição genética individual, o sexo, a idade, entre outras características. Com sensores artificiais, a pessoa passará a ter características biônicas; melhorará sua capacidade biológica e desenvolverá outras.

Nessa mesma plataforma de possibilidades, o Fundacentro, em seu relatório (2008, p. 43), argumenta que os benefícios nessa área da nanotecnologia têm sido chamados de “teranósticos”, pois tudo estará interligado, conectando diagnósticos, liberando medicação específica no alvo e realizando medicina regenerativa. Através de nanossensores “aplicados” no organismo, doenças serão diagnosticadas em seus estágios iniciais; poder-se-á conceber e sintetizar produtos farmacêuticos específicos para doenças; haverá tratamento-alvo de células doentes; utilizar-se-á de nanomáquinas para fazer reparos com microscópios em áreas de difícil operação no corpo.

As expectativas são, segundo o Grupo ETC (2006, p.15), de poder desenhar partículas e dispositivos em nanoescala que interagem com materiais biológicos de forma direta, eficiente e preciso. Com a vantagem de ter o seu tamanho diminuto, com acesso a qualquer parte do organismo vivo e, no ser humano inclusive, em áreas como células do cérebro, ou em qualquer outra célula em particular, à qual a tecnologia atual não tem acesso.

## As referências de Lima dão conta de que

[...] com o desenvolvimento da nanotecnologia e das novas ciências, os cientistas irão além dos nanobots (nano-robôs), que funcionarão como nano-células sintéticas ou mesmo os nano-medicamentos transportados, pois com a nanotecnologia avançada será possível o desenvolvimento de proteínas mais resistentes para construção de nano-tecidos ou tecidos sintéticos, esses tecidos poderão substituir órgãos danificados e não apresentarão rejeição, esses nanotecidos serão muito mais resistentes [...]. (2009, p. 165).

Ainda de acordo com o Grupo ETC (2005, p. 66), a nanotecnologia permite que a indústria da saúde manipule as propriedades do envoltório exterior de uma cápsula, a fim de controlar o momento exato da liberação de substâncias ativas. Essas formas de liberação controlada são altamente valorizadas na Medicina, pois proporcionam que os fármacos sejam absorvidos mais lentamente, em locais específicos do corpo. Exemplos de nano e microcápsulas:

- *Liberação lenta*: a cápsula libera sua carga lentamente por um período mais prolongado (por exemplo, para a liberação lenta de uma substância no corpo);
- *Liberação específica*: o envoltório é projetado para se abrir quando um receptor molecular liga-se a um químico específico (por exemplo, ao encontrar um tumor ou proteína no corpo);
- *Liberação por calor*: o envoltório somente libera os ingredientes quando o ambiente se aquece acima de uma determinada temperatura;
- *Liberação por PH* (Potencial de Hidrogênio): a nanocápsula rompe-se somente em ambiente ácido ou alcalino específico (por exemplo, no estômago ou dentro de uma célula).

Nanocápsula de DNA, a cápsula contrabandeia uma sequência curta de DNA estranho para dentro de uma célula viva que, uma vez liberada, sequestra mecanismos da célula para expressar uma proteína específica (usado em vacinas de DNA). Como resultado, elas devem ser cuidadosamente monitoradas como uma potencial tecnologia de guerra biológica.

Além de cápsulas, outros nanomateriais utilizados para a liberação de fármacos incluem (GRUPO ETC, 2005, p. 109-110):

- *Nanomateriais baseados em sílica*, “BioSilicon”: altamente poderosos, que podem liberar lentamente um medicamento durante um período de tempo. Desenvolvido pela companhia australiana *pSivida*, que usa sua tecnologia conhecida como *BioSilicon* para moldar minúsculas cápsulas (para serem ingeridas) e também diminutas agulhas que podem ser construídas como um esparadrapo para, de forma invisível, perfurar a pele e liberar fármacos;
- *Os fulerenos*, denominados *buckyballs*: que correspondem a gaiolas ocas de sessenta átomos de carbono, com menos de dois nanômetros de largura, que, por serem ocas, as companhias farmacêuticas as estão utilizando como “veículos” para transporte de fármacos;
- *As moléculas ramificadas*, chamadas *dendrímeros*: possuem estruturas em forma de árvore, e estão se tornando umas das mais populares ferramentas na nanotecnologia. Devido a sua forma e ao tamanho nanoscópico, os dendrímeros têm três vantagens na liberação de fármacos: primeiro, podem reter moléculas de fármacos em sua estrutura e servir de veículo de liberação; segundo, podem penetrar nas células com mais facilidade e liberar fármacos nos alvos; terceiro, o sistema imunológico não os reconhece, dado seu tamanho, o que traz a enorme vantagem de não serem atacados pelo sistema de defesa de organismos vivos.

Há outras variedades de nanoestruturas segundo Poletto, Pohlmann e Guterres (2008, p. 30): nanopartículas poliméricas, desenvolvidas na década de 90, podem ser divididas em nanoesferas, compostas por uma rede de polímeros, e nanocápsulas, que nada mais são do que gotículas de óleo envoltas por um filme fino de polímero; nanoemulsão, equivalente à nanocápsula sem a parede polimérica ao seu redor, pode apresentar moléculas em sua superfície que alteram suas características físico-químicas e biológicas.

Recentemente, foi anunciado por uma equipe de cientistas da Universidade de São Paulo (VIDA e SAÚDE, 1/2009), a pomada inteligente, um remédio feito com a ajuda de nanomateriais e luz vermelha, que está se mostrando eficaz para eliminar 95% de células tumorais da pele. Nesse caso, a nanotecnologia utiliza moléculas fotossensíveis, conduzidas por veículos em nanoescala. Esse fármaco é liberado de forma progressiva e seletiva e poupando os tecidos saudáveis.

Um caso de grande repercussão (GRUPO ETC, 2006, p. 21-22) é o exemplo de implante artificial de neurônios aprovado pelos Estados Unidos, através da *Food*

*and Drug Administration* (FDA), para uso clínico em pessoas portadoras do Mal de Parkinson. O dispositivo permite descarregar programas atualizados diretamente de um computador para o implante no corpo. Por enquanto, esse dispositivo se reserva a quem sofre dessa enfermidade; no entanto, será inevitável seu prolongamento para melhoramento de performance em soldados e atletas, por exemplo.

Outra área em que dispositivos nanoestruturados vêm se destacando é no tratamento de câncer, de acordo com Durán, Mattoso e Morais (2006, p. 183-190), uma vez que a alteração na estrutura química de fármacos tem levado a excelentes resultados quanto à seletividade e atividade biológica de tais moléculas frente aos sistemas biológicos pré-determinados. Porém, com o desenvolvimento nos últimos anos de fármacos altamente sofisticados e sítios específicos, sua administração e biodistribuição nos tecidos tornam indispensáveis o uso de sistemas de liberação especiais.

Atualmente, os lipossomas vêm sendo utilizados como veículos de transporte de fármacos, cuja raiz grega significa corpos de gordura, sendo estruturas constituídas principalmente de moléculas de fosfolipídios, organizadas em bicamadas, tendo um espaço central aquoso, que permite a permeação dos pontos encapsulados. No entanto, por serem um sistema instável em organismos vivos, além de terem uma eliminação muito rápida, a comunidade científica tem trabalhado muito no desenvolvimento de formulações nanoestruturadas, dentro da nanobiotecnologia.

O desenvolvimento de sistemas miniaturizados de liberação de drogas tem demonstrado que tais formulações apresentam estabilidade adequada; aumento de absorção e sítio-especificidade pelos tecidos-alvo; liberação controlada; transferência quantitativa e atividade farmacodinâmica dentro do esperado.

Uma das grandes vantagens, na utilização de nanopartículas biodegradáveis sobre outros sistemas de liberação clássicos, reside no fato de que esses sistemas não precisam ser removidos quando o fármaco é completamente liberado, uma vez que eles são reabsorvidos pelo organismo na forma de produtos atóxicos. Além do que, as formulações nanoparticuladas têm ampla aplicabilidade, sendo utilizadas sempre com baixos índices de efeitos colaterais.

Como afirma Lima (2009, p. 168), se a maioria dessas previsões se concretizarem, a história da humanidade ultrapassará a ficção; o ser humano será

levado para novas fronteiras, “*a priori*, essas ciências nos levaram além de nós mesmos”.

### **2.1.3 Aplicações da nanotecnologia na agricultura**

De acordo com o Grupo ETC (2005, p. 39), a nanotecnologia está convergindo rapidamente com a biotecnologia e tecnologia de informação para alterar radicalmente os sistemas de alimentação e agricultura, sendo que os impactos da convergência da escala nanométrica sobre os agricultores e alimentos serão maiores que os da mecanização agrícola ou Revolução Verde.

Antes de ingressar na discussão acerca do que a nanotecnologia vem “transformando” no campo, é necessário esclarecer o que seriam as tecnologias convergentes que acompanham essa “onda” tecnológica que estamos vivenciando.

O Grupo ETC (2005, p. 48) refere-se a essas tecnologias convergentes como BANG, um acrônimo derivado de *bits* (unidade operacional na informática), átomos (manipulados pela nanotecnologia), neurônios (ciência cognitiva) e genes (explorados pela biotecnologia), uma vez que elas correspondem às unidades básicas das tecnologias transformativas. O Grupo ETC vem alertando que o BANG afetará profundamente as economias, o comércio e os modos de vida das nações, inclusive a produção agrícola e de alimentos; além do que, permitirá que a segurança e a saúde humanas estejam asseguradas nas mãos de grandes corporações que detenham as técnicas dessas novas tecnologias convergentes.

Grande parte das atividades desenvolvidas pelo homem ao longo de sua história teve ou tem como finalidade a melhoria do seu bem-estar, segundo Durán, Mattoso e Morais (2006, p. 195-200). Consequentemente, não é difícil prever que a nanotecnologia contribuirá diretamente para avanços novos e significativos no campo da agricultura.

Alguns setores já estão sendo afetados direta ou indiretamente por essas tecnologias, como por exemplo, pode-se citar o agronegócio; o forte desenvolvimento de defensivos agrícolas; o melhoramento genético de animais e plantas; a redução local e ambiental da emissão de poluentes, por meio de conversão eficiente de energia; o desenvolvimento de novos materiais e dispositivos,

que combinem funções biológicas com outras propriedades desejáveis dos materiais sintéticos e o desenvolvimento de sistemas integrados de sensoriamento, monitoramento e controle de doenças, pragas da qualidade de alimentos e bebidas, entre outros.

De acordo com o Grupo ETC (2005, p. 59), agrotóxicos com ingredientes ativos em escala nanométrica já estão no mercado. A Basf da Alemanha, a quarta maior corporação mundial de agroquímicos, reconhece a utilidade potencial da nanotecnologia na formulação de agrotóxicos. A vantagem da nanoformulação é que os agrotóxicos se dissolvem mais facilmente na água, simplificando sua aplicação em áreas cultivadas.

A *Bauer Crop Science* também da Alemanha, a segunda maior companhia de agrotóxicos do mundo, requereu patente de agroquímicos na forma de emulsão, na qual o ingrediente ativo é composto por gotículas em escala nanométrica. Sendo considerada pela transnacional como um *concentrado de microemulsão*, com vantagens, tais como: redução da quantidade aplicada, atividade mais rápida e confiável e atividade de longo prazo prolongada. (GRUPO ETC, 2005, p. 60).

Por sua vez, a *Syngenta*, com sede na Suíça a maior companhia de agroquímicos mundial, já vende agrotóxicos formulados como emulsões, os quais contêm gotículas em escala nanométrica. Por exemplo, o regulador de crescimento de Plantas Primo MAXX, desenvolvido para evitar que o gramado, em campos de golfe cresça rapidamente, e seu fungicida Banner MAXX, são agrotóxicos com base oleosa, misturada com água e depois aquecida para criar uma emulsão (GRUPO ETC, 2005, p. 60-61). Para se ter uma noção do que essa emulsão em escala nanométrica representa, o fungicida Banner MAXX da *Syngenta* não se separa da água por um período de até um ano, enquanto fungicidas convencionais devem ser agitados a cada duas horas para evitar aplicação incorreta e entupimento em mecanismos de aspersão.

A *Syngenta* ainda afirma que o tamanho das partículas de sua fórmula é até 250 vezes menor do que as de um agrotóxico comum, sendo absorvido de forma sistêmica pela planta, ou seja, não pode ser arrastado pela chuva ou por irrigação posterior à aplicação.

A norte-americana *Monsanto* alega ser a pioneira na utilização de microcápsulas em agrotóxicos (GRUPO ETC, 2005, p. 63), onde para cada litro de formulação microencapsulada Zeon, da própria empresa, há cerca de 50 trilhões de



cápsulas especialmente desenvolvidas para “liberação rápida”, abrindo-se em contato com a folha da planta.

Vários projetos ao redor do mundo exploram o uso de nanopartículas nos cultivos, para fins que não o desenvolvimento de agrotóxicos – da intensificação de fotossíntese à melhor germinação e manejo do solo. (GRUPO ETC, 2005, p. 100).

Pesquisadores da Universidade de Kyoto (Japão) desenvolveram um método de produzir amônia com utilização de fulerenos (*buckyballs*); a amônia é um componente-chave dos fertilizantes.

Por sua vez os cientistas da Universidade da Coreia requereram patente para uma mistura líquida constituída por nanopartículas de dióxido de titânio, que eles alegam que destruirá pragas nocivas, intensificará a fotossíntese e estimulará o crescimento quando aplicada em arrozais.

A academia Russa de Ciências relata que foram capazes de melhorar a germinação de sementes de tomate, aspergindo uma solução de nanopartículas de ferro nos cultivos.

Em 2003, o Grupo ETC (2005, p. 101) informou sobre um aglutinante de solo baseado em nanotecnologia, chamado SoilSet, desenvolvido por *Sequoia Pacific Research*, dos Estados Unidos. O produto é uma cobertura de solo, com colocação rápida, que se baseia em reações químicas, em escala nanométrica, para aglutinar o solo. Ela foi pulverizada sobre 1.400 acres na montanha de Encebado, Novo México, para evitar a erosão após incêndios florestais, bem como em áreas menores afetadas por queimadas de florestas no Condado de Mendocino, na Califórnia.

Várias perspectivas estão sendo realizadas para aplicar a nanotecnologia direcionada para a limpeza de solos contaminados por metais pesados. Os testes mostram que o ferro em escala nanométrica permanecerá ativo no solo entre seis e oito semanas, tempo após o qual se dissolverá nas águas subterrâneas, tornando-se indistinguível do ferro que ocorre naturalmente na natureza.

No que se refere ao melhoramento genético de animais e plantas, os processos vitais basilares na agricultura são explorados a partir de pesquisas em biologia celular e molecular (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 196). Sendo necessário, portanto, novas ferramentas especialmente projetadas para separação, identificação e quantificação de moléculas individuais.

Por meio de técnicas de manipulação em escala nano, os nanobiocientistas já estão desenvolvendo variedades de plantas que se adaptam às condições

climáticas do local da cultura, sendo mais produtivas e menos suscetíveis a pragas e doenças. Esse procedimento consiste geralmente na modificação do patrimônio genético de variedades de plantas menos resistentes a um determinado tipo de doenças, usando-se variedades mais resistentes.

Segundo o Grupo ETC (2005, p. 78-79), com o desenvolvimento de sistemas integrados de microssensoriamento (nanotecnológico), monitoramento e controle de doenças, pragas e qualidade de alimentos, os microssensores encolhem em tamanho enquanto expandem sua capacidade de monitoramento.

Os nanossensores feitos de *nanotubos* de carbono são pequenos o bastante para detectar e medir as proteínas individualmente, ou mesmo moléculas. Nanopartículas ou nanossuperfícies podem ser construídas para acionar um sinal elétrico ou químico em presença de um agente contaminante como, por exemplo, uma bactéria. Outros nanossensores funcionam mediante o disparar de uma reação enzimática ou utilizando moléculas nonofabricadas, denominadas dendrímeros, que se ramificam como sondas para se ligarem a substâncias químicas e proteínas-alvo. (GRUPO ETC, 2005, p. 79).

Atualmente, o “pó inteligente” (nanossensores) está disponível pelas empresas: Crossbow Technologies, Dust Inc., Ember e Millennial Net. Os nanossensores da Crossbow têm o tamanho de uma tampa de garrafa, sendo que, nos próximos anos espera-se que o tamanho encolha ao de uma aspirina ou até mesmo ao de um grão de arroz. Seu valor varia entre US\$ 40 e US\$ 150, dependendo da quantidade encomendada. Tem-se notícia de sua utilização em várias frentes (GRUPO ETC, 2005, p. 80).

Os navios petroleiros operados pela *British Petroleum* (BP) no Atlântico Norte foram equipados com 160 nanossensores sem fio, para medir as vibrações no motor do navio, a fim de prever falhas em equipamentos.

No que se refere aos habitats naturais na ilha Great Duck, na costa americana, está sendo utilizada uma rede de 150 nanossensores sem fio, para monitoramento dos microclimas dentro e ao redor de tocas utilizadas como ninhos pelas aves marinhas.

Em San Francisco (EUA) foi instalada em pontes uma rede de nanossensores para medir a vibração e estresse estrutural, como forma de manutenção proativa.

Em Sonoma, Califórnia (EUA), os pesquisadores fixaram 120 nanossensores em sequoias, a fim de monitorarem remotamente o microclima ao redor das árvores a partir de Berkeley, a mais de 70 km de distância.

O Grupo ETC (2005, p. 72) relata que a agricultura de precisão conta com o sensoriamento intensivo das condições ambientais e com o processamento computadorizado dos dados, fornecendo informações à tomada de decisão e ao controle do maquinário agrícola. As tecnologias de agricultura de precisão normalmente conectam-se a sistemas de posicionamento global (GPS) com imagens das áreas de cultivo via satélite. Dessa forma, percebem-se pragas ou evidências de seca na lavoura a distância. Monitores de produção ajustados em colheitadeiras medem a quantidade e os níveis de umidade dos grãos à medida que são colhidos, gerando modelos computadorizados que orientarão as decisões sobre a forma ou o cronograma de aplicação dos insumos.

Durán, Mattoso e Morais (2006, p. 199) afirmam que, em se tratando da qualidade de alimentos, os métodos de avaliação inicialmente se baseiam em inspeções visuais. Como nem sempre é possível detectar essas mudanças visuais nas propriedades organolépticas (propriedades captadas pelos sentidos humanos) dos alimentos, são realizadas medidas de suas propriedades mediante um painel de provadores. O uso de sensores especialmente desenvolvidos utilizando materiais nanomanipulados poderá ser de grande valia no monitoramento dessas variações.

Para solucionar tais problemas, sensores de líquidos e gases, denominados vulgarmente de língua e nariz eletrônicos, vêm sendo desenvolvidos por vários grupos de pesquisa ao redor do mundo (no Brasil a Emprapa de São Paulo desenvolveu uma língua eletrônica para análise de bebidas como café, sucos e vinhos). Os sinais gerados por esses sensores nanoestruturados geram uma espécie de impressão digital das substâncias em análise.

De acordo com Dulley (2006, p. 229), a literatura brasileira sobre nanotecnologia e agricultura é muito escassa, razão pela qual consultou um documento muito amplo denominado *Nanoscale science and engeneering for agriculture and food systems*, do *Coperative State Research, Education and Extension Service* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Nele é apresentado uma relação de produtos potenciais que podem ser submetidos ao debate com especialistas e público, e servir de referência para pesquisadores e agricultores brasileiros. Esses produtos seguem dois horizontes de tempos que

foram preestabelecidos. O primeiro, refere-se ao período de cinco anos que começou a contar a partir de 2006 e prevê, entre outros potenciais:

- Identificação e controle de patógenos, contaminantes e toxinas por meio das cadeias produtivas (pontos críticos de controle);
- Sensoriamento remoto e contínuo dos produtos agrícolas durante a sua produção em vários cenários ambientais;
- Biossensores mais rápidos para detectar a presença de patógenos ou materiais estranhos durante o processamento de alimentos, além de patógenos ainda nas fazendas (vírus e químicos) e detectar proteínas e organismos geneticamente modificados;
- Kits miniaturizados para testes de determinação de patógenos no campo, além de monitores para melhoria de recursos de armazenamento de grãos e rações;
- Detectores baseados em proteínas ou micróbios em um *chip*, com o desenvolvimento de dispositivos de monitoramento para animais de grande porte, utilizando a saliva como indicador não invasivo;
- Desenvolvimento de algoritmos de controle para integração de sensoriamento, informação, localização, tratamento, em um sistema de controle, por meio de dispositivos que aperfeiçoem a agricultura e pecuária inteligentes.

No que se refere ao segundo período, que compreende de 5 a 15 anos, as previsões se reportam à análise de animais e plantas em tempo real:

- Rápida resposta nos sistemas de produção por meio de sistema de sensores implantados, além de sensores portáteis para detecção de patógenos, vírus, químicos, proteínas e organismos geneticamente modificados, durante o processamento dos produtos em fazendas;
- Proteção aos consumidores para identificar a qualidade dos produtos, juntamente com sensores biodegradáveis para histórico de temperatura e umidade em alimentos armazenados, além de rastrear parâmetros físicos e biológicos de culturas de alguns tipos de alimentos processados;
- Monitoramento da saúde e intervenção terapêutica em animais de pequeno ou grande porte, com o desenvolvimento de dispositivos nãoinvasivos para identificação

precoce, em cultivos no solo, de suas alterações no metabolismo, na respiração e ecologia microbiana nas zonas das raízes.

Com certeza, o potencial da nanotecnologia vem revolucionando as mais diversas áreas do conhecimento, e na agricultura a sua utilização já é destacada.

#### **2.1.4 Nanocommodities**

Na área dos materiais são grandes as novidades em nanopartículas inteligentes. Como exemplo, pode-se citar uma peça de roupa que pode reagir às mudanças climáticas e manter sempre o corpo a uma temperatura preestabelecida. Além de repelir o suor e a poeira, não precisa ser lavada, o que por sua vez impede que bactérias e vírus penetrem nela. Mas até que ponto o algodão, como *commodity* poderá ser afetada pela nanotecnologia? E as demais *commodities*, alcançarão que impactos sociais?

Com base nos dados do Grupo ETC (2005, p. 86-94), não é a primeira vez que novas tecnologias ameaçam eliminar as *commodities* da produção primária nos países do Hemisfério Sul. Na década de 80, a biotecnologia foi a grande promessa para a transferência de muitas *commodities* tropicais para instalações no Hemisfério Norte; no entanto, o objetivo não foi alcançado, dada a qualidade inconsistente e o custo de produção.

Ainda baseando-se nos dados do Grupo ETC (2005, p. 88-94), serão analisados os aspectos tecnológicos e sociais em duas grandes *commodities*: o algodão e a borracha.

No que se refere às nanofibras de algodão, a maior empresa mundial encontra-se nos Estados Unidos, a *Nano-Tex*, sendo que 51% de suas ações pertencem à *Burlington Industries* que, em seus dias de glória, foi a maior empresa têxtil do planeta. No entanto, em 2001 entrou em falência. Quando foi comprada em 2003, a empresa investiu em nanotecnologia para alavancar e se recuperar, sendo que até 2005 a *Nano-Tex* havia licenciado a sua tecnologia para 40 tecelagens e seus nanotecidos incorporados com sucesso em roupas das mais conhecidas marcas mundiais (Eddie Bauer, Lee, Gap, Old Navy e Kathmandu).

A empresa desenvolveu sua tecnologia de modo que os nanofilamentos aderissem às fibras têxteis, usando *nanoganchos*. Esses filamentos por sua vez impedem que os líquidos penetrem nos tecidos tornando-os resistentes às manchas. Em um segundo momento, desenvolveu a tecnologia tentando reunir as qualidades dos tecidos sintéticos e do algodão natural, por exemplo, a textura e a capacidade de absorção de umidade do algodão com a leveza e a secagem rápida dos sintéticos.

Mas, afinal, o que está em jogo nessa *commodity*? O algodão é cultivado em mais de 100 países, sendo que 35 dos 54 países africanos produzem algodão. Mais de 100 milhões de famílias estão ocupadas diretamente nesse tipo de produção.

Como *commodity*, o algodão não foi bem nos últimos tempos. Um século de declínio no preço ocorreu em decorrência das fibras sintéticas mais baratas que tomaram grande fatia do mercado. Estima-se que o uso total de fibras chegue a quase 60 milhões de toneladas em 2010, sendo que a demanda por fibras artificiais vem crescendo duas vezes mais rápido.

Em relação à segunda *commodity*, a borracha, é produzida em sua forma natural basicamente por produtores do Hemisfério Sul, em países como Índia, Indonésia, Tailândia e Malásia. Este último responde por mais de 1/3 da borracha natural mundial, sendo que 90% provém de unidades de produção com menos de quatro hectares, com seis milhões de agricultores diretamente envolvidos. (GRUPO ETC, 2005, p. 91).

Muitos dos principais fabricantes de pneus têm misturado pequenas nanopartículas à borracha para aumentar a resistência dos pneus e reduzir seu desgaste. *Cabot*, uma das líderes mundiais na produção de borracha para pneus, testou com sucesso nanopartículas de carboneto de sílica *PureNano*, desenvolvidas por *Nanoproducts Corporation of Colorado*, os quais adicionadas aos pneus reduziram a abrasão em quase 50%, trazendo uma durabilidade de pelo menos duas vezes mais aos novos pneus. (GRUPO ETC, 2005, p. 92).

De acordo com o Grupo ETC (2005, p. 96-100), à medida que a produção de nanomateriais aumenta, novos métodos de produção estão abrindo novos mercados. Cientistas da Universidade de Cambridge, na Inglaterra, estão testando novos métodos para fabricar nanotubos de carbono a partir de etanol de milho.

No futuro, as nanopartículas industriais poderão não ser produzidas em laboratório, mas em áreas de cultivo geneticamente engenheirados, o que poderia ser denominado *cultivo de partículas*.

Ainda é cedo para mapear com segurança a forma como a economia em nanoescala irá se expandir ou como alterará a produção de *commodities* agrícolas tradicionais; a única certeza é que isso irá se consolidar. A questão aqui é que essa nova onda tecnológica trará perturbações socioeconômicas, para as quais a sociedade se encontra malpreparada e mal-esclarecida.

## 2.2 Construção epistemológica

O termo *epistemologia* pode ser compreendido como o estudo das ciências, ou, na visão etimológico-doutrinária, é o estudo das formas de conhecimento que adotam estruturas racionais de tipo científico.

Mais do que analisar a sintaxe da palavra, é necessário entender a complexidade social na qual as pessoas estão inseridas. De acordo com Rocha:

[...] A forma característica da sociedade moderna é a diferenciação: separam-se indissoluvelmente as esferas do poder, do saber, da lei, da religião, do prazer implicando na necessidade da legitimação constante de suas áreas de atuação. [...] Neste tipo de sociedade existe uma grande indeterminação, tudo esta em aberto, a discutir. Daí surgir o problema da legitimidade, do reconhecimento social, das decisões políticas (vinculantes) tomadas. Também surge o problema da ideologia, necessidade de negar a irreversibilidade das indeterminações geradas pela pluralidade de imaginários sociais possíveis. (2008, p. 1.035).

Como uma maneira de conciliar os antagonismos formados pelos pensamentos empiristas e racionalistas, Bachelard (apud ROCHA; PÊPE, 2007, p. 15) propôs que “fenômenos novos não são simplesmente encontrados, mas inventados, construídos em todas as suas peças [...]”.

Diante de tal postulado, é necessária uma ruptura epistemológica para a nanotecnologia, possibilitando a abertura dos processos cognitivos a matrizes teórico-filosóficas que conciliem o empirismo e o racionalismo. Tem como viés

provocar o meio acadêmico e a sociedade, de forma geral, a se engajarem em torno da discussão sobre novas tecnologias, especialmente a nanotecnologia.

Em um levantamento histórico realizado pelo Grupo ETC (2005, p. 131-133), evidenciou-se que as normas de segurança dos alimentos e novas tecnologias correlatas possuem um passado com altos e baixos.

No fim da década de 40, o *boom* químico do pós-guerra observou a expansão do DDT e de outros agrotóxicos no mundo inteiro. Originalmente anunciado como um grande avanço tecnológico para a saúde e produção, levou seus responsáveis a se conscientizarem de que produtos químicos que matam pragas e insetos também matavam pessoas. O DDT foi retirado do mercado na década de 70.

Entre a década de 60 e 70, alguns corantes, conservantes, aditivos químicos e adoçantes artificiais foram imediatamente retirados de prateleiras quando descobertas suas propriedades carcinogênicas.

Em fins da década de 70, o governo americano descobriu que o principal laboratório do setor privado, o *Industrial Bio-Test LTDA*, falsificou repetitivamente dados de testes de produtos químicos e agrotóxicos em animais.

Em meados da década de 80, constatou-se que um grande número de químicos agrícolas e aditivos alimentares poderiam causar prejuízos à saúde humana, com o aumento drástico da epidemia de câncer, asma, entre outros distúrbios.

Em 1996, o governo do Reino Unido reconhece que uma variante da doença conhecida como “Doença da Vaca Louca” disseminou-se para os humanos, resultando na eliminação maciça dos rebanhos britânicos. Os responsáveis pela regulamentação e cientistas acreditaram erroneamente que alimentar o gado com componentes bovinos não causava risco à saúde.

Na década de 90, as empresas multinacionais do tabaco admitiram que o cigarro era perigoso para a saúde, somente após centenas de milhares de casos comprovados de câncer provenientes do seu consumo.

Em 2002, a Organização Mundial da Saúde alertou contra o aumento significativo da obesidade no globo, pois o estilo de vida *fast-food* está levando a classe média, principalmente no Hemisfério Norte, a uma pandemia de sobrepeso e obesidade.



Em 2004, os agricultores e consumidores tomam conhecimento de que as nanopartículas estão sendo desenvolvidas e comercializadas para a produção agrícola e de animais, bem como para utilização em alimentos processados, sem que haja regulamentação específica.

Segundo o pesquisador Mooney (2006, p. 170), a história demonstra que se observam ondas tecnológicas que podem ser monitoradas. Os padrões de tecnologia começam com o caos, quer estejamos falando da indústria de navios a vapor, de têxteis, quer do telégrafo; passam à pirataria, que irá se padronizar; depois de algum tempo, isso conduz a oligopólios ou monopólios, sendo substituídos por uma nova onda tecnológica.

Do ponto de vista das hipóteses epistemológicas acerca da intersubjetividade, Neder (2006, p. 273-276) assevera que operar sob o pluralismo metodológico solicita métodos heurísticos. Um desses métodos é indagar qual é a intersubjetividade existente entre os coletivos de pesquisa, ou seja, como caracterizar o intervalo entre o sujeito cognoscente e o objeto de pesquisa. Analisar-se-ão algumas hipóteses.

Equilíbrio é igual à ordem. No século XIX, a termodinâmica introduz o reconhecimento da instabilidade. A coexistência dos corpos não é neutra, pois provoca turbulências, transformadores irreversíveis em cada corpo. Historicamente, a ideia de ordem como equilíbrio será regida pela Física, pela lei da entropia (alterações no encontro dos corpos conduzem a sua destruição). Desenha-se dessa forma um mundo composto de dois campos: o da ordem e o do caos.

O sujeito moderno, diante da termodinâmica, é um sujeito em transição no tocante à essência identitária de si mesmo e do outro. Pressupõe uma ordem estável e contínua; porém, se o sujeito está diante do objeto não humano não lhe é atribuída essa característica. Para operar essa ambigüidade, a solução da Física mecânica foi atribuir um valor neutro ao outro.

Persiste a ideia da essência identitária, embora ela seja parte da erosão do sujeito moderno do final do século XIX e primeira metade do século XX; estamos diante das mudanças acarretadas pelo encontro com outras dimensões no âmbito do objeto não humano.

A intersubjetividade sujeito/objeto do pesquisador passa a conviver com essa zona neutra de transformação. As reações desse sujeito diante do intruso

(nesse caso novas ondas tecnológicas) o levam a dois tipos: proteger-se de sua presença ou manter-se em evolução com as novas tecnologias.

Ao contrário do sujeito moderno, o contemporâneo começa a entender que as expressões de caos e turbulência não são sinônimos de destruição, mas indicativos de que se vive em uma complexificação maior e mais vasta na relação sujeito e objeto diante da compreensão de mundo.

Já o mundo de intersubjetivação contemporâneo é marcado por outra característica, fala-se de máquinas apenas como metáfora que deve ser descartada, pois a composição da matéria e de seus corpos é vivida e aprendida como um agenciamento de peças e fluxos. Sendo que as ordens passam a ser uma dentre as várias dimensões da matéria.

Nesse panorama, a coexistência dos corpos continua desmanchando máquinas vigentes, conectando fluxos entre si e necessariamente surgindo novas máquinas que se efetuarão em novas realidades. Nessa nova realidade, não se coloca ordem de um lado e caos de outro, pois não se fala em oposição, mas complexidade.

Segundo Souza (2006, p. 281), é muito provável que a ciência seja a mais complexa, poderosa e influente das instituições contemporâneas, pois desde seu nascimento, há muitos séculos e mediante várias mutações, até culminar na hiper e complexa tecnociência contemporânea, em sua infinita multiplicação de variáveis cognoscitivo-sociais, nada fez senão se sofisticar, multiplicar-se e estabelecer parâmetros de existência e validade em todas as dimensões da vida.

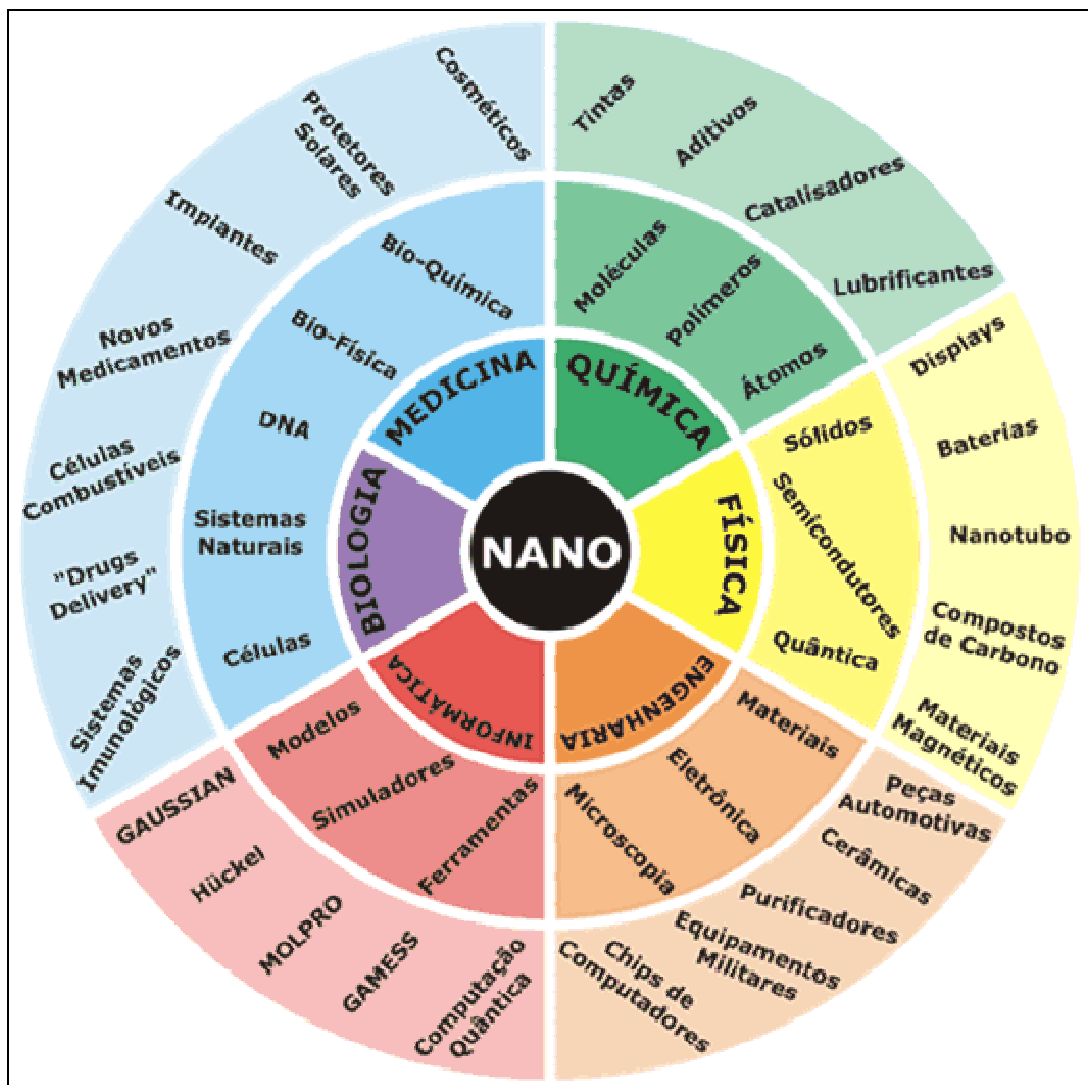
### **2.3 Euforia científica e mercado tecnológico**

Do envolvimento realizado para a construção da presente dissertação, verifica-se que as percepções e interações da sociedade com essa nova tecnologia são incipientes; por outro lado, a comunidade científica trata esse tema de forma eufórica e entusiasta e, em diversas áreas do conhecimento, terá que se *unir* em torno dessa nova frente tecnológica, razão imprescindível para a transdisciplinaridade.

De acordo com Schulz, a nanociência passou a ser um protagonista na área interdisciplinar:

A abertura das fronteiras das disciplinas de áreas do conhecimento tradicionais é um movimento relativamente recente e tem se mostrado abrangente. Como poderíamos abordar esse modo interdisciplinar de produzir conhecimento? [...] A reorganização das instituições de pesquisa para a abordagem de novos temas de pesquisa, que já não obedecem às tradicionais divisões disciplinares, é um processo interessante do qual a nanociência é de fato um dos protagonistas. (2009, p. 35).

Na mesma direção, Lima (2009, p.121) demonstra, por meio da figura a seguir exposta, as intercomunicações estruturais entre as ciências que se envolve com a nanotecnologia.



**Figura 1** .Fonte: <http://www.gadgetsetecnologia.com/2009/07/laboratorio-iberico-internacional-de-nanotecnologia-inaugurado-em-braga>.

Aprofundando-se mais no conteúdo da figura, Lima (2009, p. 122) afirma que a forma geométrica demonstra que, apesar de as ciências estarem separadas por camadas, as novas ciências, ou ciências da complexidade, formarão interações totalmente novas entre umas e outras, alargando imensamente o campo de visão das novas ciências, entre elas a nanociência.

Por sua vez, Wood (2006, p. 158) refere que é difícil imaginar a nanotecnologia sendo usada sozinha, pois necessariamente ela está interligada com outras ciências. Isso dificulta o seu estudo por parte dos pesquisadores, pois não é uma área isolada.

Dessa forma, essa nova frente tecnológica envolvendo a nanociência requer um esforço de colaboração entre os pesquisadores de todas as áreas do conhecimento, pois envolvem relações diretas com a natureza, a espécie humana, os indivíduos e a sociedade.

Em relação às patentes nacionais sobre nanotecnologia, Martins (2007) cita algumas empresas nacionais e suas respectivas patentes:

- Orbyx. Localização: SP. Mercado: plásticos, embalagens, calçados, saúde, construção civil, brinquedos, autopeças;
- Santista Têxtil. Localização: SP e em outros estados. Mercado: têxtil e confecções;
- Suzano. Petroquímica. Localização: SP. Mercado: automotivo, embalagens;
- Embrapa. Localização: SP. Mercado: indústria de alimentos, bebidas, café, água, comercialização de alimentos;
- Nanox. Localização: SP. Mercado: indústria de vidro, cerâmica, plásticos, metalúrgica;
- Audi. Localização: SP. Mercado: automotivo;
- Nanotex. Localização: DF. Mercado: têxtil;
- Multivácuo. Localização: SP. Mercado: diversos tipos de indústrias;
- Brasken. Localização: RS. Mercado: automotivo, eletroeletrônico, utilidades domésticas;

- Natura. Localização: SP. Mercado: cosmético;
- O Boticário. Localização: PR. Mercado: cosmético;
- Nanocore. Localização: SP. Mercado: farmacêutico, veterinária, biotecnológica;
- Faber-Castell. Localização: SP. Mercado: material escolar;
- Nanum. Localização: MG. Mercado: pós-cerâmicos e filmes finos para vários tipos de indústrias;
- Laboratório Biosíntesis. Localização: SP. Mercado: químico e petroquímico;
- Unicamp/Genius Instituto de Tecnologia. Localização: AM. Mercado: eletrônica de consumo, multimídia, terminais móveis, TV digital;
- FK-Biotecnologia S.A. Localização: RS. Mercado: produtos biotecnológicos para a Medicina humana – medicamentos;
- Petróleo Brasileiro S.A. Localização: RJ. Mercado: petróleo, petroquímica, energia;
- Biocancer S.A. Centro de Pesquisa e Tratamento do Câncer. Localização: MG. Mercado: indústria farmacêutica, indústria biotecnológica, instituto de pesquisas.

Todas as empresas acima citadas, entre outras, já possuem patentes em áreas que envolvem componentes nanotecnológicos.

Segundo Schulz (2009, p. 60), a empresa *MarketResearch* redigiu um relatório intitulado “Nanotecnologia: uma avaliação realista do mercado”, em que apresentou, entre outras conclusões, que o mercado nanotecnológico deverá crescer para 25 bilhões de dólares em 2011; os nanomateriais dominam esse mercado na marca de 86%. Continua afirmando que, em 2005, os maiores mercados de nanotecnologia eram os seguintes: mitigações ambientais (33%), eletrônica (24%), energia (15%) e aplicações médicas (5%).

A economia torna-se referência quando aduz a expansão e o apoio às pesquisas, principalmente no caso brasileiro em relação à nanotecnologia, na qual a iniciativa financeira está atrelada ao investimento privado, e em menor escala, o Poder Público.

É importante frisar que esse avanço tecnológico gera inevitavelmente conflitos e riscos, que serão abordados no capítulo seguinte, mas que, segundo Prigogine (apud MORIN, 1998, p. 229-235), existe antagonismo: o lado da tecnologia, surge como elo à sobrevivência humana e, de outro lado, há as condições de sobrevivência, nas quais a tecnologia passa a ser a detentora intrínseca da própria destruição humana em potencial.

### 3 RISCOS SOCIAIS NANOTECNOLÓGICOS E A PRECAUÇÃO

#### 3.1 Complexidade, sistemas e desenvolvimento

Não resta dúvida que a inserção da nanotecnologia na sociedade é uma realidade crescente. Uma grande questão envolvendo essa situação é: como fazer com que essa nova tecnologia, com forte característica de inovação e criação, se compatibilize com a própria criatividade humana, se a complexidade estiver entre ambos? Quais caminhos deverão ser trilhados para a *redução da complexidade*?

Em um seminário sobre nanotecnologia realizado no Brasil, Lopes Júnior abordou o tema “As ciências sociais e a nanotecnologia: alguns desafios”. Nessa palestra que viria a fazer parte de um livro posteriormente, o palestrante é enfático ao afirmar:

Imersos em uma prática cujos temas são sempre muito auto-referenciais, sentimo-nos, nas ciências sociais, ameaçados por realidades nas quais a complexidade que se avizinha não é mais apresentada por meio dos esquemas mentais aos quais fomos nos conformando pela força inercial do *habitus* acadêmico. [...] produzem-se questões sobre efeitos, impactos e riscos, como se fosse possível continuar mobilizando nosso idioma social para tratar da nanotecnologia. (2006, p. 147).

Como compreender essa complexidade que se avizinha, se todo o conhecimento é anterior à nova tecnologia? Essas dúvidas engendradas nas entrelinhas acima citadas, é a grande dificuldade a ser enfrentada pela comunidade acadêmica, no que se refere às interrelações intrínsecas da sociedade.

Nessa esteira, Lima (2009, p. 221) aduz que “tudo será ressaltado e reformulado com a idéia da revisão mais analítica de todo o conhecimento científico, para que esse seja reformulado, ou usado de uma forma mais específica ou nova nas novas ciências”, ou seja, o avanço da nanotecnologia leva a somente uma direção: a transdisciplinaridade. Para Nicolescu (2010) essa direção “diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente, para o qual um dos imperativos é a unidade do conhecimento”.

Necessariamente as ciências terão que comunicar-se entre si, para gerar conhecimento, mas esse conhecimento terá que ultrapassar a barreira da complexidade.

No entanto, antes de prosseguir com a ideia de convergência tecnológica e comunicação na sociedade, será abordada a ideia de complexidade no viés sistêmico, pela teoria elaborada por Luhmann. A posterior abordagem sobre complexidade terá como base o capítulo de mesmo nome de sua obra *Introdução à Teoria dos Sistemas*.

Vilas Bôas Filho (2009, p. 177/178), na obra *Teoria dos sistemas e direito brasileiro*, aduz que a teoria desenvolvida por Luhmann “apresenta um instrumental conceitual sofisticado”, uma vez que possibilita a análise de temas considerados esgotados, a partir de novos pontos de vista. Mas vai além; afirma que a *mudança de paradigmas* tem por base pressupostos teóricos anacrônicos e incompatíveis com a complexidade da sociedade contemporânea.

Para Luhmann (2009), o questionamento principal a respeito da complexidade deriva da diferença estabelecida entre sistema e meio. Assim, o meio foi compreendido como dotado de complexidade bem acima do que o sistema, devendo ser assim estabelecida uma diferença de complexidade entre eles.

Ocorre que, de imediato, verificou-se que o meio propunha tantos estímulos que o sistema não era capaz de absorver todas suas posições individualmente; dessa forma surgiu a expressão *redução de complexidade*, que nada mais era do que a possibilidade de desenvolvimento de mecanismos capazes de aumentar a compreensão das instâncias de racionalidade dentro do próprio sistema, no sentido de ignorar, rechaçar, criar indiferenças, ou seja, “enclausurar-se em si mesmo”.

Para demonstrar na prática essa preocupação com a complexidade, referente à nanotecnologia, será transcrito o item seis, da Resolução do Parlamento Europeu,

considera que a UE carece de um sistema coerente de infra-estruturas de I&D de craveira mundial para continuar a ser competitiva no domínio das nanociências e nanotecnologias; chama a atenção para o facto de – para poder beneficiar de possíveis “economias de escala” e devido à **interdisciplinaridade** e à **complexidade** que as caracterizam – as infra-estruturas de I&D em nanotecnologias requererem uma massa crítica de recursos que ultrapassa os meios dos governos e da indústria nacionais; reconhece que, por outro lado, as políticas nacionais de I&D, de escala mais reduzida, podem amiúde estar em melhores condições para reagir de modo adequado à evolução das oportunidades e do mercado; conseqüentemente, insta a Comissão e os Estados-Membros a reforçarem e coordenarem os



seus esforços de I&D neste domínio; para tal fim, recomenda a criação em cada Estado-Membro, com base nas especificidades de cada país, de uma massa crítica mínima de cientistas e infra-estruturas com especialização específica em nanociências e nanotecnologias de que deve resultar, em última instância, a criação em certos países de centros de excelência especializados que serão coordenados a nível da União. (Item 6 – Nanociência e Nanotecnologia: Plano e Ação para a Europa 2005-2009, 2005) (Grifo nosso).

É tão grande a defasagem em estudos acadêmicos e em análise da complexidade que envolve as nanociências e nanotecnologias, que a comissão da resolução do plano acima citado recomenda a criação de infraestrutura mínima para que os cientistas possam ampliar seus conhecimentos e pesquisas referentes ao tema.

Retornando à redução de complexidade, Luhmann (2009, p. 180) afirma que o modelo da *generalização* é um dos caminhos a ser trilhado, a partir de dois enfoques: “a) o sistema desenvolve um modelo de reação igual, frente a dados distintos provenientes do meio; b) a um mesmo estímulo oriundo do meio, o sistema pode reagir diferentemente, dependendo do estado em que se encontra.” Esse modelo de *generalização* adotado pelo autor significa que não há necessidade de que haja o enfrentamento de item por item entre a incessante resistência meio/sistema.

A forma mais simples de compreender a complexidade continua o autor, “é pensar, primeiramente, no número das possíveis relações, dos possíveis acontecimentos e dos possíveis processos”. (LUHMANN, 2009, p. 184). Assim, verifica-se que cada organismo, máquina ou formação social terão sempre um meio mais complexo, colocando à disposição do sistema um número crescente de possibilidades, ou seja, o resultado desses “embates” entre sistema/meio, tenderá a agir de forma seletiva, pois “sempre há outras possibilidades que podem ser selecionadas, quando se trata de atingir uma ordem” (LUHMANN, 2009, p. 184). Essa ordem pode ser o direito, pois a escolha de uma implica no afastamento de outras, pois de acordo com Rocha (1997, p. 68), “[...] a opção por uma alternativa tem como decorrência necessária a não-tomada da alternativa contrária. Isso significa que, no Direito, ao existir uma norma, deve-se analisar também não somente o permitido, mas sim, o proibido”.

Para demonstrar um exemplo empírico da seletividade anteriormente descrita, Simioni (2006) cita, no prefácio de sua obra, *Direito ambiental e sustentabilidade*, uma questão envolvendo o meio ambiente. Segundo ele, “diante das relações entre atividades humanas e os processos ecológicos, o Direito Ambiental não tem outra alternativa senão operar seletivamente”. Para o autor, o mecanismo de redução de complexidade, nesse caso, seria a judicialização que acabará por condensar e estabilizar uma “semântica rígida”, que, nesse caso, poderá ser chamada comunicação jurídica.

Dada a verificação de que é possível reduzir a complexidade, a partir das possibilidades inerentes à relação sistema/meio, um caminho, para selecionar e efetivar essas possibilidades, não seria outro senão a comunicação. Sempre tendo em mente, de acordo com Luhmann (2009), que as relações entre os elementos de um mesmo sistema tendem a se multiplicar, dadas as interações inerentes entre eles.

Assim, uma maneira seletiva de organização dessas múltiplas interações seria a comunicação. Para tanto, ele exemplifica, citando as hierarquias institucionais, nas “quais se formam níveis, e só é possível que membros de um nível se comuniquem muito seletivamente com membros que estão situados em outros planos: um secretário de Estado não pode falar diretamente com o pessoal de outra secretaria”. (LUHMANN, 2009, p. 185).

Se for necessária a articulação, leia-se comunicação, de vários sistemas para a resolução de problemas ecológicos (LUHMANN, 1992, p. 112), por que não aplica a mesma lógica na resolução de problemas que venham ocorrer com a nanotecnologia?

Vilas Bôas Filho (2009, p. 35), discorre sobre a comunicação, “definida como síntese de três operações seletivas (mensagem, informação e compreensão), a comunicação passa a ser concebida como a única operação que é genuinamente social”.

Para Rocha, Schwartz e Clam (2005, p. 71), “a sociedade é comunicação”, sendo a responsável pela seletividade de possibilidades dentro do sistema sociedade, uma vez que a comunicação é o agente responsável por diferenciar a sociedade de seu entorno e dos demais sistemas, pois, argumentam os autores, “isso se deve ao fato de ela produzir comunicação pela comunicação, e, também, graças à sua operação recursivamente fechada, estabelecer seus limites”.

Outra maneira de redução da complexidade, segundo Rocha, King e Schwrtz (2009, p. 21), seria o processo de tomada de decisão. Segundo ele, “existem excessos de possibilidades no mundo que exige a escolha de uma delas, e a conseqüente operação de construção da realidade”.

De acordo com Lima (2009, p. 218), a chave para diminuir o impacto da complexidade sobre a sociedade seria a virtualização do conhecimento. Visto de outra forma, seria transformar laboratórios em grandes *games on-line*, *softwares* com imensos bancos de dados, e o jogador seria o atual cientista. Então, esse *software* com Inteligência Artificial iria interagir com o cientista, “aprendendo com o jogador”. Para o autor, a aprendizagem do novo cientista está diretamente relacionada com a virtualização da complexidade. Nesse aspecto, Lima afirma:

*Virtualizar a complexidade, esta é a idéia – a única forma de se conseguir realmente entender, enxergar e trabalhar de forma produtiva com as novas ciências. Através de modelos virtuais, tornar possível a um garoto, como se fosse um jogo inteligente de estratégia criar em ambiente virtual um laboratório químico, ou fatos matemáticos em todos os detalhes. De tal forma que a cada passo seja necessário a aquisição de conhecimentos, ferramentas e insumos para cada passo. Tal conceito tornará possível em ambiente virtual, a um garoto, como em um jogo, trabalhar com genética, bioquímica, nanotecnologia, novas ciências e tudo que se possa encontrar de mais complexo. (2009, p. 219).*

O objetivo de demonstrar essas formas de redução de complexidade resume-se a buscar uma forma de adaptação dessa nova onda tecnológica (nanotecnologia) na sociedade.

Ocorre que, da mesma forma que a linguagem é *dissecada* através de seus elementos constitutivos, como palavras ou orações, a nanotecnologia só pode ser observada através de suas formas tecnológicas, ou seja, só se pode deduzir os nanomateriais ou as nanopartículas através da observação dos seus resultados na sociedade, após sua *aglomeração* para formação de algo concreto em tamanho real (macro).

A observação de segunda ordem passa a ser a chave transdisciplinar de ligação dessa adaptação da redução da complexidade tecnológica no meio da sociedade. A arte de “observar constitui uma operação paradoxal, porque atualiza uma dualidade como unidade”. Assim, continua o autor, “a sociedade moderna encontra em seus próprios paradoxos, e também na tentativa de solucioná-los, a

capacidade de se colocar em funcionamento e seguir adiante”. (LUHAMNN, 2009, p. 177).

Para demonstrar na prática o que significaria reduzir a complexidade, Lima (2009, p. 242) cita um exemplo que passará a ser analisado. Imagine um quarto com forma quadrada que esteja conectado, cada centímetro cúbico de seu espaço físico em um simulador de computador.

Como passo seguinte, imagine uma pequena nuvem de fumaça em seu interior, e o computador terá que analisar cada mudança dessa nuvem em tempo real e apresentar detalhes com imagens, dados e relatórios. Infelizmente, com a atual tecnologia, esse exemplo não tem como ser executado. Imagine esse exemplo em comparação com o planeta todo!

A nanotecnologia surgiu e demonstra condições de realizar isso! Lima (2009, p. 242), aduz que “todo o nosso planeta mergulhará em uma época de singularidades, haverá mudanças radicais em tudo que existe”. Será uma nova época evolutiva para a humanidade sustentada, segundo o autor, pela nanotecnologia, a neurociência, a inteligência artificial, a biotecnologia e por novas ciências englobadas pelas ciências da complexidade.

No entanto, antes de sonhar com esse *admirável mundo novo*, é de suma importância que tantas promessas positivas para a sociedade não se transformem em sementes de algo que possa levar à destruição da realidade que conhecemos para um caminho negativo sem volta.

## **3.2 Riscos tecnológicos**

### **3.2.1 Elementos teóricos e riscos da nanotecnologia**

Diante do vasto avanço no campo das nanociências, urge a necessidade de estabelecer parâmetros que estabeleçam critérios de prudência envolvendo a nanotecnologia. Ocorre que a discussão ainda se encontra na fase de percepção de qual seria o melhor marco teórico para fundamentar esses critérios.

Para Rocha e Pepê, a teoria dos sistemas sociais proposta por Luhmann, demonstra que

[...] o tempo pode ser considerado como uma das metáforas para a observação da sociedade e do Direito, juntamente com a complexidade: busca por um pensamento que vise o excesso de perspectivas de nossos horizontes temáticos e não uma única, meramente normativista e dogmática; o paradoxo: onde a questão da contradição não deve ser afastada e a existência da mesma é condição para a observação e o risco: que leva em conta a dificuldade contingencial das conseqüências das decisões políticas (e jurídicas) [...]. (2007, p.11).

Nesse sentido, refletir a ciência sob a perspectiva da teoria dos sistemas sociais de Niklas Luhmann representa uma evolução significativa da aplicabilidade de um novo espírito científico no âmbito dos avanços tecnológicos. Por isso é possível afirmar ser emblemática essa teoria para uma ruptura da epistemologia da ciência atual, indo ao encontro do corte epistemológico proposto por Gaston Bachelard.

Na ótica bachelardiana, a ciência é concebida como uma atividade que evolui destituída de linearidade e cujos princípios se reconhecem como contingenciais, atrelando-se à circunstância histórica a que estão vinculados. Tal concepção sintetiza o exercício de saber que o processo de reformulação, renúncia de dogmas e certezas estanques, implica a reconstrução recorrente de seus próprios fundamentos. Nesse mister, a ruptura epistemológica de Bachelard estabelece uma censura definitiva a pressupostos meramente idealistas, formalistas, racionalistas, empiristas, realistas, positivistas. Porém, são as novas matrizes científicas dotadas de mutação e inovação permanentes, que oportunizam o rompimento sucessivo de si mesmas e germinam, com isso, uma nova filosofia das ciências. (PAIVA, 2007, p. 33).

Vindo de encontro a esses elementos teóricos, mas do ponto de vista prático, foi redigido pelos pesquisadores do Fundacentro (2008, p. 5-6) um Relatório a respeito dos nanomateriais, envolvendo os riscos e benefícios ambientais e produtos de consumo emergentes, que afirma que a gestão de riscos emergentes “requer cuidadosa ponderação dos riscos e benefícios largamente desconhecidos”.

Essa gestão de riscos emergentes, de acordo com o relatório, passou a concretizar um enfrentamento às agências reguladoras, pois as informações a

respeito dessa nova tecnologia ainda são limitadas e, na maior parte das vezes, são insignificantes. Além do que não existem parâmetros basilares anteriores para tomadas de decisão específicas sobre esse risco, somente características secundárias semelhantes, como: pressão pública, necessidade de tomada de decisão pelas agências reguladoras e, acima de tudo, um nível significativo de incertezas relacionadas aos impactos e às propriedades dos nanomateriais por meio dos ciclos de vida do produto. (FUNDACENTRO, 2008).

Um exemplo dessa incerteza tecnológica, envolvendo a relação entre segurança e risco de mudanças tecnológicas, com o engajamento público, foi citada por Schulz, na qual a iluminação pública a gás, na primeira metade do século XIX, em Londres e Paris era da seguinte forma:

No começo do século XIX, iluminação a gás era um símbolo poderoso, mas ambíguo, representando por um lado o progresso e conforto, mas condenado como uma inovação tecnológica perigosa por demais. [...] A controvérsia se estabeleceu entre os promotores dessa nova tecnologia e indústria e os opositores e céticos em função dos riscos potenciais. O principal temor era uma possível explosão dos reservatórios de gás com seqüelas [...] Além disso, surgiram críticas quanto à baixa qualidade estética [...] Por fim foi levantada a suspeita de efeitos tóxicos do gás, e um problema crucial era a presença de compostos sulfurosos corrosivos no gás [...]. (2009, p. 24-28).

Esse embate público foi importantíssimo, uma vez que, segundo esse autor, houve nove debates públicos a respeito do tema, entre 1819 e 1823, em Londres e Paris, pois, a partir deles, buscou-se uma solução alternativa (que seria a energia elétrica para a iluminação); assim, os problemas de saúde envolvendo o gás somente seriam resolvidos décadas depois.

Silva (2008, p. 172-173) aduz, em relação aos riscos da nanotecnologia, que as consequências sociais devem ser levadas em consideração, pois existem fatores únicos subjetivos, tais como costumes e vida cotidiana. Mas, além desses fatores, existem questões de referência, “no caso dos denominados impactos ambientais, a saúde, o equilíbrio ecológico, entre outros”, que devem ser estabelecidas para que haja essa base referencial.

Por sua vez, Mathias Schulenburg (2004, p. 47) refere que tem fundamento o receio de que as nanopartículas acarretem efeitos indesejados em seres humanos e no ambiente, uma vez que se trata de substâncias passíveis de acarretar efeitos

secundários desconhecidos. Ainda, para o autor, existe somente uma percepção vaga em relação à segurança das nanopartículas, “pelo que as perguntas em aberto devem ser respondidas o mais urgentemente possível mediante os trabalhos pertinentes de nano-investigadores e toxicológicos”.

De acordo com o Relatório da *Royal Society and Royal Academy of Engineering* (2004), do Reino Unido, não existem informações disponíveis quanto aos efeitos das nanopartículas sobre outras espécies, salvo algumas exceções com o ser humano, além de não se saber o comportamento dessas partículas no ar, na água ou no solo, ou sua capacidade de acúmulo nos alimentos. Até que se saiba mais informações a respeito de seu impacto no ciclo de vida ambiental, se deve evitar, tanto quanto possível, a liberação de nanopartículas e nanotubos no meio ambiente. Por fim, recomenda que as fábricas e os laboratórios de pesquisa, que envolvem nanomateriais, os considerem resíduos de alto risco.

Para Davies J. (2009), a “previsão do risco de qualquer tecnologia envolve informação científica básica sobre a tecnologia, os dados de teste em produtos específicos, e avaliação dos riscos”. Ao focar esses pontos, o autor afirma que: 1) as informações científicas são oriundas de universidades e laboratórios dos governos, sendo que os motivos que envolvem essas informações estão relacionados com a curiosidade científica, a obtenção de subsídios e contratos, além da possibilidade de obtenção de lucros através de patentes; 2) por sua vez, os testes em produtos são realizados pelas próprias empresas ou laboratórios contratados. Ocorre que nem o fabricante, muitas vezes, sabe do alcance final dos seus produtos, pois, no caso dos nanomateriais, as informações são insuficientes no tocante a combinações de materiais. Então, para demonstrar resultados, as empresas acabam por se utilizar de dados de materiais análogos, que já tenham sido testados; 3) por fim, a avaliação dos riscos normalmente é realizada pelo governo; no entanto, essas avaliações não são científicas, pois são analisadas e organizadas com base em dados e informações de uma determinada substância ou produto.

Partindo dos pressupostos acima citados, verifica-se que algumas nações já vêm trabalhando em relatórios e grupos de pesquisas, a respeito dessa nova revolução tecnológica, que envolve materiais em escala nanométrica, com apontamentos de avaliação e monitoramento dos riscos.

Para o *Food and Drug Administration* (FDA) órgão governamental dos Estados Unidos da América, responsável pelo controle de novos alimentos e medicamentos no mercado de consumo interno desse país, a dificuldade com os materiais em nanoescala está no fato de que suas propriedades químicas, físicas e biológicas serem diferentes dos seus homólogos em tamanho normal, segundo Relatório da força tarefa sobre nanotecnologia (2007).

Entre as recomendações mais importantes dessa força-tarefa, destacam-se, na fase pré-comercialização: apresentação de dados e outras informações que abordem sobre os efeitos e a segurança, além da eficácia dos materiais em nanoescala; informações *se e como* a presença desses materiais afeta o processo de fabricação, além de informarem as situações em que o produto contém materiais em nanoescala, mesmo que esses materiais não se tornem parte do produto acabado.

Uma recomendação em especial desse Relatório chamou a atenção, pois, segundo os pesquisadores, a ciência atual não comporta a conclusão de que as classes dos materiais em nanoescala causem ou não preocupação em relação ao tema; dessa forma, a força tarefa orientou pela análise caso a caso da necessidade de rotulagem contendo informações a respeito dos nanomateriais.

De acordo com o Relatório sobre os aspectos regulamentares dos nanomateriais (2009), adotado pela União Europeia, observam-se algumas considerações envolvendo os riscos. Entre elas destacam-se: 1) dada sua dimensão ínfima, os nanomateriais apresentam riscos, pois existe a possibilidade de uma maior reação e mobilidade de seus componentes, que podem conduzir a um aumento da toxicidade, devido ao seu acesso irrestrito ao corpo humano; 2) ocorrem divergências conceituais a respeito das definições que envolvem nanomateriais, por exemplo, a respeito das dimensões e propriedades diferentes; 3) não existem informações claras sobre a utilização de nanomateriais em produtos de consumo; 4) os comitês científicos e agências da União Europeia apontam lacunas graves em dados fundamentais, além dos métodos de obtenção de dados; 5) segundo o Comitê científico europeu para os emergentes e recentes riscos à saúde (SCERNIR), foram identificados perigos específicos para a saúde e efeitos tóxicos sobre organismos do ambiente, no caso de alguns nanomateriais; 6) considera que, enquanto a atual legislação não incluir disposições específicas relativas aos nanomateriais, além da



falta de dados concretos e métodos utilizados, a legislação vigente não proporciona o nível de proteção necessário.

Pela leitura realizada do relatório acima citado, verifica-se que o atual sistema de governança, com suas normas, tornou-se obsoleto diante desse “tsunami” tecnológico, de acordo com Mooney. (MARTINS, 2006, p. 172).

Schultz manifesta-se da mesma forma, ao se referir ao tema:

E o que se propõe para a avalanche de produtos nanotecnológicos? Um regime de governança (leia-se regulamentação) adaptativa (leia-se que se modifique com agilidade) para dar conta de monitorar as mudanças tecnológicas e regulamentar seus produtos. É uma proposta bem complicada, pois assume a hipótese de que agências reguladoras são menos ágeis que às mudanças científicas, tecnológicas e o desenvolvimentos de seus produtos. [...] esse problema seria análogo ao “doping”. A necessidade de uma certeza absoluta prévia de detectar qualquer forma de *doping* inviabilizaria qualquer competição esportiva e vimos que os mecanismos de controle parecem estar sempre correndo atrás dos mecanismos de dopagem. (2009, p. 95/96).

Portanto, não é ser cauteloso demais afirmar que essa inundação de produtos envolvendo nanotecnologia, segundo o Relatório sobre Aspectos Regulamentares dos Nanomateriais (2009), em média 800 produtos de consumo, traz consigo um enorme risco para a sociedade, uma vez que todos seus mecanismos de segurança encontram-se obsoletos para essa nova tecnologia?

O Canadá (Québec Commission) também redigiu seu relatório sobre nanotecnologia em 2006, denominado *Position statement: ethics and nanotechnology: a basis for action*. Esse relatório aponta para alguns riscos inerentes a essa tecnologia e, destaca entre suas maiores preocupações (2006, p. 20): a tendência de aglutinação das nanopartículas e seus potenciais efeitos sobre o ambiente e nos organismos vivos; a importância da superfície específica dos nanomateriais em relação a sua massa, pois contribui para alteração ou ampliação das propriedades originais da matéria; a reação desenvolvida por algumas partículas na escala nanométrica, pois geram riscos por se tornarem explosivas, inflamáveis ou tóxicas; a capacidade dos nanomateriais de transpor as barreiras de proteção dos organismos dos seres vivos.

Em contrapartida, os mesmos pesquisadores que redigiram esse relatório canadense (2006, p. 161), destacaram a importância de considerar as conseqüências que poderiam advir da recusa em aceitar alguns riscos inerentes à

essa nova tecnologia, pois uma rigidez na aceitação poderia deixar de trazer avanços a população, além de impedir avanços tecnológicos e comerciais em todas as áreas do conhecimento.

O Brasil, de forma acertada e planejada, como relatado anteriormente, também redigiu um Relatório a respeito dos nanomateriais, envolvendo os riscos e benefícios ambientais e produtos de consumo emergentes (2008), por meio da entidade governamental que atua na pesquisa científica e tecnológica, o Fundacentro.

De acordo com essa entidade (2008, p. 10), embasada pelo *White Paper*, no tocante à estrutura de governança de risco, verifica-se a ocorrência de três fases principais: a primeira denominada pré-avaliação abarca o levantamento, o monitoramento e a notificação do risco, com posterior pré-filtragem e seleção de pressupostos e convenções para posterior análise da avaliação do risco; a segunda fase se refere à estimativa do risco, que inclui tanto a avaliação do mesmo, como a *preocupação* com a nova tecnologia; essa estimativa diz respeito aos critérios científicos do risco, incluindo a identificação do perigo, estimativas de exposição, com foco na saúde humana. A *preocupação*, portanto, se caracteriza pela observação dos aspectos sociais de risco, que envolvem desde a opinião pública até os possíveis impactos socioeconômicos; na última fase, ocorre a gestão do risco, que traz em seu bojo as ações para atenuar o mesmo. Essa fase divide-se em seis etapas: geração das opções de gestão, avaliação técnica das opções, avaliação subjetiva de opções, seleção da opção, implementação e monitoramento/análise.

Ao avançar na perspectiva estrutural de avaliação do risco, o Fundacentro (2008, p. 20) utiliza-se das abordagens e dos procedimentos formulados pela Academia Nacional dos Estados Unidos da América, adaptada e utilizada pela aplicação específica do *Environmental Protection Agency* (EPA). É importante ressaltar que a avaliação do risco foi tratada como uma atividade científica; por outro lado, a gestão do risco foi analisada sob o viés político.

A avaliação de risco que será abordada neste momento foi estruturada a ter quatro componentes: identificação do perigo, avaliação de toxicidade, avaliação de exposição e a caracterização de risco.

A partir disso, o Fundacentro (2008) relata que, embora a avaliação do risco seja utilizada com sucesso desde a década de 80 pela comunidade científica, a sua utilização para a nanotecnologia requer um grande conjunto de informações, uma

vez que a exposição e a avaliação de toxicidade dos nanomateriais são de grande complexidade, dado o grande número de variáveis, além da falta de conhecimento básico a respeito das combinações envolvendo esses materiais.

Dessa forma, verifica-se a necessidade de estimativas de exposição e toxicidade para cada nanomaterial ou mesmo semelhante, desde que diferente funcionalidade ou diferentes estágios nos ciclos de vida ambiental. Como bem salientado no Relatório brasileiro (2008, p. 21), o conhecimento a respeito de um composto ou de uma classe de compostos muitas vezes, se existe, pode até estar disponível; no entanto, os métodos utilizados para essa avaliação do risco não têm sido discutidos na literatura.

Pelo relatório não há dúvida de que ainda é muito cedo para se ter os parâmetros que constituem, pelo menos, os indícios de danos que envolvem nanomateriais. No entanto, vários tipos de efeitos têm sido relatados a partir de estudos *in vivo* e *in vitro*, os quais apresentam dados preocupantes, pois referem-se a riscos crônicos à saúde humana, ou seja, como afirmado no relatório (2008, p. 21), “basicamente, nós ainda não sabemos o suficiente sobre potenciais tóxicos da maioria das nanopartículas para aplicar as técnicas tradicionais de avaliação de risco”.

Para o Fundacentro (2008, p. 24), uma abordagem sólida para a tomada de decisões, além de uma gestão eficiente dos nanomateriais e das informações heterogêneas de incertezas e riscos, seria a utilização do “Método de Análise de Decisão de MultiCritérios” (MCDA).

Essa abordagem, já reconhecida e utilizada por diversas organizações (FUNDACENTRO, 2008, p. 23), tem sido recomendada e aplicada principalmente nos programas de gestão de risco, e um exemplo de aplicação para nanomateriais já relatada. Esse instrumento poderá ser o viés almejado pela comunidade científica para fundamentar as incipientes tentativas de padronização, que envolvem a metodologia com nanomateriais. Confirmam essa expectativa o relatório brasileiro e expõe o MCDA da seguinte maneira:

Uma abordagem da MCDA para classificar instrumentos alternativos de gestão de risco e tomar decisões eficientes sobre outras questões que permitiria uma análise conjunta dos benefícios e dos riscos junto com as relevantes incertezas associadas para a decisão. Um processo generalizado da MCDA segue dois temas básicos: (i) gerar opções alternativas, critérios de sucesso, e juízos de valor e (ii) classificar as alternativas, aplicando pesos de valor. A primeira parte do processo gera e

define as escolhas, níveis de empenho e, preferências. A última seção sistematicamente apara alternativas não viáveis pela primeira aplicação de mecanismos de filtragem (por exemplo, efeitos nocivos ao meio ambiente ou à saúde, custo excessivo) e, então, classificar em detalhe as alternativas de gestão restantes por técnicas da MCDA que utilizam os vários níveis de critérios gerados pelos modelos de destino e transporte, avaliação de risco, dados experimentais, ou critério/decisão especializada. (2008, p. 24).

A partir dessa afirmação do Fundacentro, aponta que os instrumentos utilizados pela MCDA ajudam a gerar e mapear informações e dados técnicos referentes à análise de risco, à modelagem, ao monitoramento e à estimativa de custos. E vai além, pois tem como resultado um processo estruturado para selecionar a alternativa que melhor se adapta ao caso em questão, e demonstra uma direção concreta em um caminho sem  *sinalização*, como o da nanotecnologia.

Para De Giorgi, o vínculo do tempo na atual sociedade se forma a partir do risco, que não significa outra coisa senão que “uma outra decisão poderia evitar o dano que se produziu”, pois não existem situações que não gerem riscos. A principal característica é sua construção a partir de um observador. Paradoxalmente, argumenta-se que o risco é “o necessário não-saber de todo saber”; como o próprio autor aduz, “isto significa que é possível evitar um risco, mas somente nas condições de correr outro risco, sem saber qual”. (2006, p. 217).

E continua a afirmar que as políticas de segurança não somente não têm relação com a segurança, como “incrementam” o risco, pois inicialmente fundamentam-se em experiências passadas, “reduativas e esquemáticas”, e, posteriormente, não têm como redimensionar a contingência que se liga com a própria ativação; por fim, na maior parte das vezes, são técnicas de produção de consenso, ou seja, as políticas de segurança “produzem um considerável aumento das expectativas em face do sistema político e têm, por conseguinte, a função de re-introduzir na comunicação política temas que podem ser tratados por princípios, valores [...]”. (DE GIORGI, 2006, p. 218).

No que concerne ao desenvolvimento de grupos de pesquisa, de âmbito tanto regional como nacional, segue o destaque para o grupo JUSNANO (2010), da Instituição do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), que busca investigar os reflexos que as pesquisas em nanotecnologia provocarão na sociedade, além de aproximar a área tecnológica com a área humana, com o intuito de propor marcos regulatórios.

Para os pesquisadores do Fundacentro (2008, p. 13), vários dos documentos que debatem a regulamentação dos nanomateriais consideram a comunicação de riscos e a informação pública partes vitais do processo. Essas afirmações são referidas, por exemplo, pela *International Risk Governance Council, através dos Relatórios White Paper* (IRGC, 2005), *Policy Brief: Nanotechnology Risk Governance: Recommendations for a global coordinated approach to the governance of potential risks* (IRGC, 2007). Por fim, além disso, esses relatórios apontam para a necessidade de discussão dos problemas ambientais e de saúde em suas estruturas de avaliação, e ressaltam a existência de riscos da lacuna educacional; citam como exemplo a lacuna do conhecimento técnico, pois, quando esse conhecimento não é compartilhado com a sociedade, leva à percepção distorcida dos riscos inerentes àquela tecnologia, no caso, a nanotecnologia.

### **3.2.2 Nanotecnologia e meio ambiente**

Os nanomateriais são geralmente produzidos pelo homem de forma artificial, o que não significa que não possam ocorrer de forma natural na natureza; no entanto, as maiores preocupações com impactos ambientais têm sido os nanomateriais com engenharia humana. Esses nanomateriais artificialmente produzidos podem ser divididos em quatro categorias: materiais à base de carbono (fulerenos), materiais à base de metal (ouro ou nanopartículas de dióxido de titânio), dendrímeros (polímeros de tamanho nano) e compósitos (misturas de nanopartículas). (FUNDACENTRO, 2008, p. 32).

Por sua vez, as nanopartículas, destaca o Fundacentro (2008), têm diferentes propriedades, que envolvem seus elementos químicos e físicos, em comparação com seu material em escala normal. Essas diferenças incluem propriedades ópticas, comportamento térmico, resistência do material, solubilidade, condutividade e atividade catalítica. Como exemplo basta realizar uma análise do quadro a seguir, que apresenta as propriedades ou características dos materiais selecionados que são dependentes do tamanho da partícula.

Material	Efeito	Varição do tamanho da partícula
SmCo <sub>5</sub>	Coercividade aumentada	2 – 20 µm
Fe <sub>86</sub> Zr <sub>7</sub> CuB <sub>6</sub>	Coercividade diminuída	20 – 60 nm
Nano-Al	Redução do ponto de fundição	10 – 60 nm
Partículas de MgO	Solubilidade aumentada	238 – 425 µm
As adsorvido em nano FeO	Afinidade de absorção aumentada	< 20 nm
Au adsorvido em TiO <sub>2</sub> (110)	Afinidade de absorção aumentada	1,3 – 6 L*
Nano-óxidos de ferro	Degradação melhorada de orgânicos	< 10 nm
Pd depositado em Mo(110)	Atividade catalítica própria	< 5 nm
Nanocubos de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Comportamento superparamagnético próprio	< 25 nm
Nano-Ag(0)	Ressonância plasmônica (detectado em espectro visível)	5 – 15 nm (azul) 16 – 30 nm (verde) 31 – 46 nm (vermelho)
Nano-Ag(0)	Afinidade de absorção aumentada para células de HIV-1	1 – 10 nm
Sm agrupado em C amorfo	Mudança de valência metálica (Sm <sup>2+</sup> para Sm <sup>3+</sup> )	7,5 x 10 <sup>14</sup> – 12 x 10 <sup>16</sup> cm <sup>-2**</sup>
Nano-drogas para tratamento de câncer	Efeitos colaterais menos tóxicos	Não medido
Nano-Au	Ressonância plasmônica (detectado em espectro visível)	20 – 250 nm

**Quadro 1.** Fonte: Relatório Fundacentro (2008, p. 34).

\* L = Langmuir, uma unidade de exposição “sorbato” para superfície. 1 L é aprox. igual ao de uma monocamada de moléculas adsorvidas.

Valores de L <1 representam tamanhos de partículas menores.

\*\* Unidades de densidade de absorção atômica sobre uma superfície.

Para estudar as variações dos efeitos tóxicos que envolvem os nanomateriais, surgiu a denominada ecotoxicologia, que avalia as destinações ambientais e os efeitos biológicos das substâncias químicas.

De acordo com o Relatório do Fundacentro (2008, p. 36), existem várias fontes de liberação de nanomateriais na sociedade, conhecidas e não conhecidas. Essas nanopartículas podem ser descarregadas de forma direta no solo, na água ou no ar, pelas próprias empresas que são responsáveis pela sua manufatura.

Fontes não conhecidas podem incluir enxurradas de planejamento urbano, nas quais os nanomateriais tenham sido utilizados em materiais de construção, vidros autolimpantes ou tintas, cosméticos, entre outros.

Fontes conhecidas que tenham resíduos com nanomateriais incluem os tratamentos de esgotos municipais, pois normalmente contêm tintas, grafites, cosméticos, protetores solares ou até mesmo produtos farmacêuticos, lavados ou descartados em esgotos. Agroquímicos que contêm nanopartículas serão liberados de forma direta na atmosfera ou no solo. Nanomateriais utilizados em catalizadores e em combustíveis de veículos são emitidos à atmosfera. Plásticos, materiais compósitos, têxteis, produtos eletrônicos e lubrificantes poderiam ser fontes de contaminação, se liberados intencionalmente ou acidentalmente em mecanismos de destinação de resíduos, como aterros, esgotos ou até mesmo incinerações (FUNDACENTRO, 2008, p. 36).

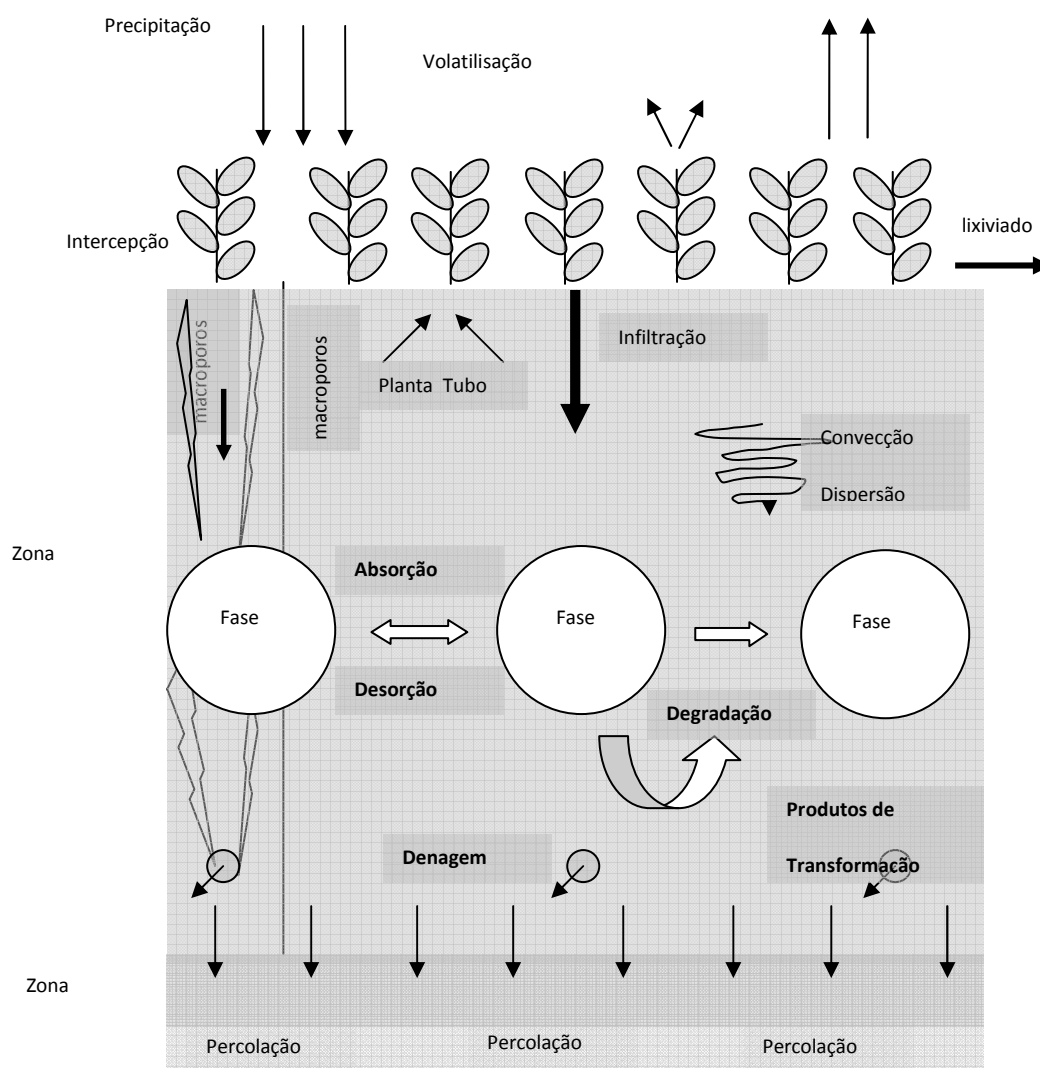
Um exemplo preocupante sobre a liberação de nanomateriais no meio ambiente foi citado por Mooney (2006, p. 168); segundo ele, o governo americano, através do Departamento de Oceanografia, e empresas privadas, foram ao alto-mar, entre a Nova Zelândia e a Antártica e espalharam nanopartículas de ferro, com diâmetro de até 20 nanômetros. O objetivo da experiência seria a absorção dos nutrientes de ferro pelo oceano, o que poderia produzir plâncton, que por sua vez é o responsável por captar gás carbônico da atmosfera, e assim, sua proliferação acarretaria uma redução da temperatura mundial. No entanto, apenas alguns dias após o início da experiência, ela foi abandonada por dois motivos: segundo um dos cientistas, se houvesse meio petroleiro de nanopartículas de ferro, ele poderia ter causado uma nova era glacial, ou seja, a experiência foi positiva no que se refere à diminuição da temperatura. No entanto, o segundo motivo foi que eles não tinham certeza dos efeitos à jusante, e houve uma enorme preocupação “sobre a possibilidade de conduzir à esterilização de mares tropicais”. Assim a experiência foi encerrada.

Para demonstrar a variedade de processos que podem impactar o grau de exposição dos organismos, diante da liberação de nanomateriais no meio ambiente, os pesquisadores do Fundacentro elaboraram uma tabela e um infograma, em seu Relatório (2008, p. 38), para demonstrar a destinação, no solo, de nanomateriais existentes, dos quais não se conhecem as consequências de sua exposição no ambiente.

Material	Aplicação (se estabelecida)
TiO <sub>2</sub> -Zn em aço ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub>	Fotocatalítico
DLC alternado, Si-doped DLC W-Ni-Fe	Lubrificação -
Argila-polianilina Nano-ZnO-filled PTFE	Proteção contra corrosão
Nanofios Cu/Nb PMMA-filled nanoalumina	Condutores elétricos
Olefinas termoplásticas Expoxi/organoargila Polisestireno-grafite expandido	Plásticos
hidroxiapatita/colágeno/sulfato chondrotin Nano-Fármacos nano-vitaminas	Substituição óssea Medicina/nutrição

**Quadro 2.** Fonte: Relatório Fundacentro (2008, p. 38).

Nanocompósitos selecionados para os quais não existem dados sobre seu destino ambiental.



**Figura 2.** Fonte: Relatório Fundacentro (2008, p. 38).



Nesse excepcional relatório redigido pelos pesquisadores do Fundacentro (2008, p. 30-31), foram demonstrados alguns caminhos de interação entre os nanomateriais e o meio ambiente:

- O primeiro processo se denomina *floculação* ou *dispersão*, consiste na separação das nanopartículas de um mesmo material, uma vez que a agregação pode levar a consequências sequer pensadas. Em uma evidência experimental, verificou-se que a adição de cloreto de sódio na maioria dos nanomateriais tem como resultado sua floculação;
- O processo seguinte é a *dissolução*, que nada mais é do que a quebra dos componentes dos nanomateriais, uma vez que estes são altamente insolúveis. Como exemplo é citado que as nanopartículas de óxido de zinco são dissolvidas na presença dos acetatos;
- A *absorção* é o processo pelo qual os nanomateriais podem absorver outros componentes na fase aquosa. A absorção dessas nanopartículas no solo é parecida com a floculação, pois esses materiais são simplesmente *acrescentados* para os sólidos em escala maior no ambiente;
- Na *transformação/degradação*, na parte das vezes, os nanomateriais inorgânicos são utilizados nas formas oxidadas, pois geram estabilidade em condições ambientais. Por outro lado, os nanomateriais orgânicos são potencialmente degradadores, se expostos ao meio ambiente. No entanto, existe pouca informação concreta a respeito da transformação microbiana dos nanomateriais.

Com intuito de prever o destino ambiental dos nanomateriais, com base nas características do material, o relatório do Fundacentro (2008, p. 40-41) elaborou uma lista dessas características intrínsecas dos nanomateriais, que poderá servir de parâmetro para o seu destino.

- O *ponto zero de carga* é uma dessas características, pois os nanomateriais funcionais são sintetizados para conter grupos carregados ou mesmo desenvolver grupos, quando expostos ao meio ambiente. É importante ressaltar que essas superfícies carregadas exibem uma propriedade cujas cargas são “equilibradas” na superfície, o que se denomina de ponto zero de carga. Essa partícula não tem qualquer carga, ou seja, são solventes apolares por natureza;

- A *área de superfície específica* é onde a reatividade dos nanomateriais está diretamente relacionada com a proporção da área superficial e o diâmetro da partícula. Essa característica é importante, pois, justamente essa superfície é definida como a primeira de duas ou três camadas atômicas de qualquer material, e isso está ligado a esse material em massa, ou ao tamanho na escala maior;
- A *especificação* é a característica que diz respeito à ligação entre a funcionalidade e a espécie química dos nanomateriais. Essa característica também determina a solubilidade dessas nanopartículas;
- A *tensão superficial* descreve a relação coesa de uma partícula de nanomaterial, expondo suas características como rigidez de superfície ou conformação física.

A partir de toda essa conceituação dos nanomateriais, fica claro quão avançada é a escalada de desenvolvimento dos nanomateriais.

O pesquisador Quina (2004), do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, destaca uma área em que serão esperados amplos benefícios provenientes da nanotecnologia, envolvendo o meio ambiente: o primeiro enfoque está relacionado com a prevenção da poluição, pois, segundo ele, o uso de nanopartículas catalíticas aumentaria a efetividade e seletividade dos processos industriais que envolvem matérias-primas. O segundo, seria o tratamento da poluição, pois a grande área de superfície dos nanomateriais faz de suas propriedades ótimos elementos de absorção de materiais e elementos orgânicos; uma vez absorvidos, as nanopartículas magnéticas selecionariam e retirariam o que se deseja descontaminar. Por fim, o autor destaca o monitoramento da poluição através dos nanossensores, que podem ser tanto orgânicos como inorgânicos.

Poderiam ser citadas várias pesquisas avançadas com nanomateriais e com o meio ambiente em si. O relatório do Fundacentro (2008, p. 44-45), para concluir a temática referente aos nanomateriais, demonstra uma série de lacunas quanto à pesquisa dessa nova tecnologia. A primeira parte dessas lacunas elenca falhas na destinação ambiental, e a segunda parte diz respeito à ecotoxicologia.

- O primeiro apontamento se refere à *definição de nanopartículas*, pois se o efeito desses materiais é verificado, deve haver um esforço no sentido de clarear essa definição, para se poder fazer uma distinção entre a teoria da nanotecnologia e a teoria coloidal clássica;

- Há *limitações no conhecimento da química, da fase sólida prática*, uma vez que dificuldades para a determinação dessa química dos nanomateriais segue a mesma trajetória da teoria coloidal clássica de décadas anteriores;
- O avanço no *desenvolvimento/aplicação de instrumentação e métodos analíticos* é de suma importância, pois, a partir dessa metodologia, poder-se-á se determinar a distribuição de nanomateriais nas diversas matrizes ambientais;
- Uma área de importante desenvolvimento e que se encontra com muitas lacunas se refere às *propriedades relevantes de nanomateriais para a previsão de destino ambiental*. Sua importância reside justamente no fato de, atualmente, haver uma imprevisão nos comportamentos dos nanomateriais no ambiente, ou seja, o problema está na conceituação individual ou de propriedades combinadas, pois existe uma falta de acordo no que tange à maneira como as propriedades dos nanomateriais são medidas;
- Existe uma grande demanda na *transformação e degradação dos nanomateriais*, nas diversas matrizes ambientais (ar, água, solos, sedimentos, biota). De forma específica, os dados são importantes para determinar se os micro-organismos podem realizar transformações dessas nanopartículas através de mecanismos diretos ou indiretos. Bem como há a necessidade de dados para avaliar se as interações coloidais naturais e outros materiais podem se estabilizar no meio ambiente.

A segunda parte dos apontamentos das lacunas pelos pesquisadores do Fundacentro se refere à ecotoxicologia.

- O primeiro apontamento são os *métodos de padronização para a exposição dos nanomateriais*, uma vez que eles são necessários para a introdução dessas nanopartículas nas matrizes ambientais, para testes toxicológicos. Sempre há a preocupação de que os dados da toxicidade não sejam oriundos dos artefatos relacionados na metodologia utilizada;
- As *avaliações em nível da comunidade e multitróficos de toxicidade* são necessárias para dimensionar a maneira como essas conclusões afetarão as dinâmicas de comunidade e multitróficos, pois muito dos efeitos da concentração dos nanomateriais no organismo são subletais;

– A avaliação toxicogenômica está relacionada com pesquisas averiguadas *in vitro* e *in vivo*, pois podem fornecer um panorama dos mecanismos pelos quais os nanomateriais induzem efeitos tóxicos em organismos. Há apontamentos de que técnicas *proteômicas* e *metabólicas* podem ser ferramentas úteis para a avaliação da toxicidade.

No que se refere à avaliação de risco, os métodos padronizados são necessários tanto para a avaliação da exposição, como para a avaliação dos efeitos dos nanomateriais. O apontamento de necessidade de dados é de suma importância, pois são necessários para esclarecer as avaliações de risco para cada classe de tamanho das nanopartículas.

A partir das lacunas acima citadas, verifica-se que a *metodologia científica* básica, o fundamento da ciência moderna, ainda não foi inteiramente desenvolvida para a nanotecnologia. Nas palavras de Victoriano:

[...] trata-se de assumir que tanto a perspectiva ecológica como a problemática ambiental iniciaram uma caminhada de transformação dos métodos de investigação e as teorias científicas tradicionais para poder aprender uma realidade em vias de uma nova complexidade que transborda a capacidade de compreensão e explicação dos paradigmas teóricos clássicos. (2006, p. 91-92).

Essa citação faz referência a essa revolução metodológica à qual os cientistas da atualidade terão que se adaptar, pois a nanotecnologia já é uma realidade em nosso meio. O quadro a seguir foi desenvolvido por Victoriano (2006, p. 91), com base em estudos de Jesús Ibáñez, e vem demonstrar modelos teóricos de interseção entre a sociologia e a ecologia, em função da sua regulação metodológica na pesquisa sobre percepção ambiental:

	Perspectiva de pesquisa social predominante	Nível/tecnológico (como se faz) Jogo de linguagem	Nível metodológico (por que se faz) Funções de Linguagem	Nível epistemológico (para que, para quem se faz) Efeitos de linguagem Proposta política
Interseção sociologias/ ecologias sociologia meio ambiental	Distributiva	Pergunta/resposta Pesquisa de opinião	Função referencial da linguagem Elementos da rede (unir-se as suas prescrições)	Assimetria Fecha o campo Desenvolvimento sustentável Educação ambiental
Interseção sociologias/ ecologias: sociologia ecológica	Estrutural	Conversação Grupo de discussão Entrevista aberta	Função estrutural da linguagem Estrutura da rede (explora os caminhos possíveis)	Simetria tática Assimetria estratégica Sustentabilidade socioecológica Cultura da Sustentabilidade
Interseção sociologias/ ecologias: ecologia política	Dialética	Assembleia Socioanálises Investigação Ação participativa	Função pragmática da linguagem Construção da rede (fazer outra rede)	Simetria real Abre e libera os dizeres e os fazeres Emancipação social Transformação do sistema de relações de exploração capitalistas

**Quadro 3.** Fonte: MARTINS, 2006, p. 91.

A análise do quadro acima ressalta que a recepção de tecnologias complexas, como a nanotecnologia, e a possível metodologia que será utilizada não têm como escopo a interrupção da entrada dessas tecnologias em nossa nação, mas somente que essas pesquisas deverão ser realizadas de forma cautelosa para, proporcionar a toda a sociedade uma realidade que consiga realizar uma gestão positiva dos riscos, para assim impulsionar o desenvolvimento científico em equilíbrio com o meio ambiente.

### 3.3 Princípio da precaução e nanotecnologia

De acordo com Baumam, a consolidação da *modernidade* apresenta algumas características que apontam a direção em que a atual sociedade está se dirigindo.

A consolidação da “ordem do egoísmo” neoliberal foi conduzida pela administração do “novo trabalho” sob o codinome de “modernização”. [...] Cada vez mais, em face da escassez de objetos ainda não afetados (ou seja, áreas da vida que ainda estão fora das fronteiras do mercado do consumo), os ambientes “modernizados” de ontem se tornam objetos de novas rodadas de modernização, dando entrada a mais capital privado e ainda mais competição. Em vez de ser concebida como uma operação a ser feita de uma tacada só, a “modernização” se tornou condição permanente das instituições sociais e políticas, erodindo ainda mais o valor de continuidade, juntamente com a prudência de pensar a longo prazo [...]. (2008, p. 181).

Não há dúvidas de que o estilo de desenvolvimento da sociedade contemporânea está fundamentado na continuidade da evolução tecnológica que vive, no entanto, é importante que haja uma reflexão crítica em relação a essas inovações tecnológicas e em relação à própria sociedade. Assim, diante das incertezas inerentes a essas inovações, o princípio da precaução destaca-se como um mecanismo de proteção, tanto da sociedade como do meio ambiente. (MILARÉ; SETZER, 2006, p. 8).

O processo de desenvolvimento da nanotecnologia deve passar pela compreensão das relações existentes entre o meio ambiente e a saúde humana, além de ser submetido a alguns princípios basilares. O Centro Internacional para avaliação de tecnologia (*International Center for Technology Assessment*) e a ONG Amigos da Terra, ambos dos Estados Unidos, em conjunto com mais de 70 entidades, elaboraram em conjunto um documento denominado *Princípios para supervisão das nanotecnologias e nanomateriais* (NANOACTION, 2007). Esse documento destaca oito princípios para analisar essas interações entre nanotecnologias, meio ambiente e saúde humana. O primeiro desses princípios é o da Precaução, entendido da seguinte forma: “Quando alguma atividade ameaça a saúde humana e o meio ambiente, devem-se tomar medidas de precaução, inclusive

quando as relações de causa e efeito não são totalmente estabelecidas de maneira científica”. (RAMOS, 2009, p. 46).

Para Viegas (2007, p. 160), o risco do desenvolvimento faz parte da sociedade pós-industrial, sendo que “os riscos atuais não estão localizados no tempo e no espaço, tendo como características serem incalculáveis, incontrolláveis e não-delimitáveis”. Atualmente o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos tornou-se uma ansiedade coletiva; no entanto, não são suficientemente testados antes de seu ingresso no mercado, além de que “possuem componentes químicos por vezes não conhecidos amplamente pelo *estado da técnica* daquele momento”.

Por sua vez, Cascais afirma que o tema da responsabilidade científica surgiu após a Segunda Guerra Mundial, com o problema do risco decorrente da incerteza jurídica. Dessa forma, o princípio da precaução deve “ser igualmente contextualizado no quadro mais vasto das guerras da ciência e referido a um desafio de fundo à autoridade cognitiva da ciência na avaliação da incerteza e do risco”. Essa incerteza científica, para o autor, se liga ao “perigo intuído”, que está diretamente ligado à ação de precaução. Como base nessa incerteza, está a ignorância e a indeterminação “inerente à capacidade de se conhecer grandes sistemas e tem sido avaliada predominantemente à luz de modelos estatísticos, ao invés de sociais. Por sua vez, os perigos são graves, porquanto cobrem vastas áreas e se mantêm por longos períodos [...]”. (CASCAIS, 2007, p. 18).

O Princípio da Precaução foi consolidado como princípio ambiental na Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente, conhecida como RIO 92 (1992), apesar de ter sido redigido e analisado em anos anteriores. Em sua redação, no Princípio 15 da Declaração do Rio, se verifica:

De modo a proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. (Tradução nossa).

Sendo mais específica a respeito desse princípio, a União Europeia adotou a “Comunicação da Comissão Europeia relativa ao princípio da precaução” como texto-base de referência sobre o tema, publicada em 2000. A análise desse princípio

destaca dois aspectos: 1) a decisão política de atuar ou de não atuar, ligada a fatores que desencadeiam a utilização do princípio da precaução; 2) em caso afirmativo, como atuar, ou seja, as medidas que resultam da utilização do princípio da precaução.

No texto fica clara uma abordagem prudente sobre a política de avaliação do risco; em contrapartida, a inserção desse princípio ocorre quando “a incerteza científica não permite uma avaliação completa dos riscos e as instâncias de decisão consideram que pode existir uma ameaça ao nível escolhido de proteção [...]”. Portanto, os critérios adotados para a aplicação do princípio da precaução pelo comunicado da União Europeia (2000, p. 18-21) são:

– *proporcionalidade*, que significa aplicar os níveis de proteção selecionados. As medidas fundadas no princípio da precaução não deveriam ser desproporcionadas em relação ao nível de proteção pretendido e querer atingir um nível zero de risco, que raramente existe. No entanto, uma estimativa incompleta dos riscos pode gerar limitações das possibilidades dos gestores do risco, por outro lado uma proibição completa, por exemplo, pode ser algo desproporcional a um risco potencial ou a única saída possível a um determinado risco. “As medidas deveriam ser proporcionais ao nível de proteção pretendido”;

– *não discriminação*, que determina situações análogas “não sejam tratadas de forma diferente” e que “situações diferentes não sejam tratadas da mesma forma”, ou seja, as decisões a título de precaução devem ser aplicadas independentemente da origem geográfica ou natureza de produção;

– *coerência*, que é a tomada de decisões baseadas em situações semelhantes. Com base nessa afirmação, se houver falta de informações ou dados científicos para a determinação do risco, “as medidas tomadas a título de precaução deveriam ser de um alcance e de uma natureza comparável com as medidas já tomadas em domínios equivalentes em que estejam disponíveis todos os dados científicos”;

– *análise das vantagens e dos encargos que podem resultar da actuação ou da ausência de actuação*, está diretamente relacionada a “estabelecer uma comparação entre as conseqüências positivas ou negativas mais prováveis da actuação prevista e as da inactuação em termos de custo global para a Comunidade”. Assim, pode ser que uma sociedade esteja pronta a pagar um custo maior para garantir uma segurança maior, quer com o ambiente, quer com a saúde.



Contudo, podem ser utilizados outros métodos de análise (análise de eficácia ou impactos socioeconômicos), além de que decisões não são totalmente dependentes de considerações econômicas;

– *análise da evolução científica*, são medidas que “devem manter-se enquanto os dados científicos permanecerem insuficientes, imprecisos ou inconclusivos e enquanto se considerar o risco suficientemente elevado para não aceitar fazê-lo suportar pela sociedade”. Mas, no caso de surgirem novas informações a respeito de um tema com metodologia e dados *enraizados*, as medidas antigas devem ser suprimidas em um prazo determinado. “As medidas baseadas no princípio da precaução devem ser reexaminadas e, se necessário, alteradas em função dos resultados da investigação científica e do acoplamento do seu impacto”.

Para compreender melhor essa evolução científica, Cezar e Abrantes (2003) aduzem as previsões científicas a respeito de eventos naturais ou sociais, para, a partir dessas definições, haver uma análise melhor a respeito do que não pode ocorrer nessas situações tecnológicas. A seguir serão analisadas algumas das previsões tecnológicas com base nos autores citados:

– *previsão sobre o funcionamento* se refere a antecipações: i) das entradas e saídas decorrentes dos sistemas de mecanismos; ii) do funcionamento interno desses mecanismos. No primeiro item, as previsões são relativas aos insumos, produtos e subprodutos relacionados ao funcionamento. No segundo item, destaca-se o funcionamento interno da tecnologia em questão;

– *previsão sobre falhas* indicam antecipações: i) possível falha a ser apresentada pelo mecanismo ou pelos componentes, sob determinadas condições; ii) na possibilidade de falhas dos mecanismos, quais seriam os produtos ou subprodutos gerados ou comprometidos;

– *previsões sobre os efeitos sociais* são antecipações de consequências econômicas, sociais políticas ou culturais;

– *previsões sobre efeitos ambientais* são antecipações de possíveis consequências geradas: i) por possíveis falhas em entradas ou saídas no funcionamento de um mecanismo; ii) pelos efeitos ambientais ou sanitários dele decorrentes;

– *previsões sobre efeitos para a saúde humana* abrangem antecipações geradas por: i) possível falha nas entradas ou saídas do funcionamento do mecanismo; ii) efeitos ambientais ou sociais dele decorrentes.

É importante ressaltar segundo Cézar e Abrantes (2003, p. 247), que essas previsões buscam compreender os efeitos de falhas tecnológicas sobre efeitos ambientais, sociais ou sanitários. Portanto, para os autores, a interpretação do princípio da precaução busca

assegurar que a ascendência epistemológica do conhecimento científico, assegurada pelo crivo da comunidade científica, deveria ser desconsiderada nos casos em que houvesse uma percepção inicial de risco de danos sérios ou irreversíveis. Assim, essa antecipação de ameaça de dano, baseada em uma percepção de senso comum ou de especialistas isolados, poderia ser suficiente para a adoção imediata de medidas de prevenção da degradação ambiental prevista. (2003, p. 256).

Para Cosby (2010), as características elementares do princípio da precaução são divididas em sete categorias:

- *antecipação preventiva*, que nada mais é do que tomar medidas concretas antes da obtenção de provas científicas definitivas;
- *margem de erro* se caracteriza pela necessidade de deixar uma margem de possibilidades de erro em aberto, pois o risco nunca é reduzido absolutamente, uma vez que a nanotecnologia está inserida nas ciências da complexidade;
- *proporcionalidade da resposta* está fundamentada na razoabilidade da proporção entre as medidas propostas e os benefícios esperados;
- *ônus da prova* deve estar ligado a quem apresenta a tecnologia, pois depende dele a disponibilização de adequados programas de segurança;
- *busca por maior segurança* é uma das características que deve primar por maior certeza científica, com reavaliações periódicas de novos métodos de análise de risco;
- *abertura do processo* é a total transparência dos mecanismos de decisão envolvendo todas as partes em um processo de produção;

– *ênfase na busca de alternativas* se caracteriza pela busca da existência de novas alternativas de produção e dos produtos finais, que tenham as mesmas características, mas que detenham menos riscos em seus processos.

Em vista disso, segundo Freitas (2006), cabe ressaltar que, “na seara ambiental, a responsabilidade do Estado não será meramente subsidiária, mas solidária”, no tocante ao princípio da precaução, seja em condutas omissivas, na falta de precaução, seja em condutas comissivas, nos excessos de precaução. Mas, continua o autor, para tanto é importante destacar alguns pontos de suma importância envolvendo esse princípio:

a aplicação direta e imediata do princípio da precaução nada mais deve acarretar do que a hierarquização governada pelos princípios e direitos fundamentais; (b) embora autônomo, o princípio da precaução deve ser compreendido entrelaçadamente com os demais, visto como superior às regras, por definição; (c) a efetividade do princípio da precaução supõe o Estado Democrático animado por carreiras de vínculo institucional típico, na perspectiva do Direito Público mais de Estado do que governativo e (d) deve ser amplamente sindicada a conduta estatal (omissiva ou comissiva), com a noção de que o princípio da proporcionalidade veda tanto as ações excessivas como a inoperância. (FREITAS, 2006).

Dessa forma, além de verificar que o Estado é responsável pelo desenvolvimento tecnológico, pois deve, dentro do possível, coibir excessos ou insuficiência, o princípio da precaução já é utilizado como mecanismo de “freios e contrapesos” no sistema legal, pois, na falta de legislação específica, ele já vem sendo usado no Judiciário.

Antunes destaca que “o princípio da precaução tem sido bastante invocado judicialmente”, sendo possível identificar três posições que se destacam dentro do Judiciário: maximalista, intermediária e minimalista. A primeira observa que o princípio da precaução ultrapassa os demais princípios e não tem nenhuma limitação legal ou administrativa. A posição minimalista afasta a utilização do princípio da precaução, pois as necessidades econômicas se sobrepõem àquele. A posição intermediária vem estabelecer o equilíbrio entre as duas posições anteriores, “privilegiando a racionalidade e a solução de compromisso entre os diferentes atores”. (ANTUNES, 2008, p. 38).

Muitos dos relatórios internacionais, a respeito da situação de incerteza jurídica da nanotecnologia, discutem a aplicação do princípio da precaução como

mecanismo de contenção de riscos. Mas, de forma sucinta, o relatório do Fundacentro destaca algumas posições acerca da utilização desse princípio.

[...] a utilização do princípio da precaução é fundamental para a regulamentação da nanotecnologia em face das incertezas, afirmando que o uso deste princípio irá garantir que nenhum dano seja causado. Dada as incertezas significativas no campo da avaliação de risco da nanotecnologia, a Royal Society assume uma postura semelhante, dizendo que a libertação no ambiente de nanopartículas deve ser evitada até se ter mais conhecimento sobre os seus efeitos. A estrutura/quadro ED-DuPont diz que defende valores “semelhantes” ao princípio de precaução, mas não o defende diretamente, pois é definida de formas diferentes em locais diferentes. A abordagem da governança de risco do CGRI toma uma abordagem de precaução em situações de elevada incerteza. (2008, p. 21).

Dada essa abordagem a respeito do princípio da precaução frente ao desenvolvimento da nanotecnologia, verifica-se que sua utilização é de suma importância, pois ele atua diretamente na demanda dos direitos sociais e coletivos. Isto é, na discussão tecnológica que se refere à nanotecnologia, não existem respostas fáceis e, no campo científico, a dificuldade é imensurável. No Judiciário o princípio da precaução é o pilar central acerca dessa matéria, pois como afirma Engelmann e Flores (2010) “o princípio basilar na sociedade nanotecnológica consiste na precaução. Havendo a incerteza científica acerca das consequências de determinada atividade ou tecnologia, a cautela deverá ser a diretriz de conduta”. Dessa forma, diante da inexistência de base legal da nanotecnologia, o princípio da precaução tem como escopo servir de ferramenta central, nessa fase de incertezas legais, ainda mais que já se encontra no mercado algumas centenas de produtos que têm em sua composição a tecnologia *nano*. Mas, o que se refere à busca por critérios normativos e aos demais assuntos, na direção de um marco regulatório, será assunto para o próximo capítulo.

## 4 COMUNICAÇÃO TECNOLÓGICA E SISTEMA DO DIREITO

### 4.1 (Inter)Relações entre direito e nanotecnologia

A humanidade está na iminência de uma nova revolução industrial que será guiada pela nanociência, tão grandiosa que seus efeitos serão mais incisivos do que as tecnologias de informação e comunicação que originaram a Nova Economia no final do século passado. Essa revolução nanotecnológica supõe uma mudança radical nas condições materiais do atual modelo produtivo, mudanças essas que não serão isentas de problemas e questionamentos. Dada a importância do tema, é necessária uma análise crítica, objetiva, holística e prudente diante de cada sistema que envolve essa nova tecnologia, pois existe uma tendência de otimismo tecnológico cético por parte da comunidade científica e do mundo industrializado, que acaba por marginalizar os efeitos sociais e ambientais da tecnologia. (GARÍ, 2010).

Partindo dessas premissas, a Organização Regional Interamericana de Trabalhadores, que faz parte da Confederação Sindical Internacional, com base na Declaração denominada “Princípios para a Fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais” (2007), destacou que já é consenso entre a maioria dos pesquisados da nanotecnologia, a enorme competição que existe entre governos, universidades e empresas na comercialização das nanotecnologias e dos nanomateriais. Mas, como assevera tal Declaração, existem muitas evidências relacionadas aos perigos dessa tecnologia, que dizem respeito à saúde, segurança e ao meio ambiente, além dos “profundos desafios sociais, econômicos e éticos representados por esta nova revolução dos materiais”.

Outro apontamento, que ainda chama a atenção, na introdução dessa Declaração são as questões relacionadas às inúmeras situações que este órgão de representação de toda uma classe, faz em relação à nanotecnologia:

Ambientes fabris e laboratoriais operam sem a apropriada orientação de segurança ou medidas de proteção. Os consumidores são constantemente expostos a nano ingredientes não rotulados nos produtos, sem serem informados de seus potenciais riscos. Nanomateriais são descartados e liberados no meio ambiente a despeito de seus impactos desconhecidos e

dos meios inadequados de detecção, acompanhamento e remoção desses novos materiais. Os governos e empresas que desenvolvem nanotecnologias fornecem poucas oportunidades reais para a participação pública informada nas discussões e decisões sobre como, ou mesmo se devemos, prosseguir com a “nano” do mundo. (Princípios para a Fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais, 2007). (sic)

Frente a essas situações de risco, às quais a sociedade está exposta, qual é o papel do Direito na sociedade? Até que ponto o vigente sistema legal tem “capacidade” de resolver essas questões, uma vez que, como o próprio Kelsen (2003, p. 46) expressou em sua famosa fórmula, “tudo o que não está proibido é permitido”?

Para Moreira “o Direito ainda não se estruturou adequadamente para dar respostas aos desafios propostos pelas novas tecnologias [...] É necessário ampliar a reflexão jurídica para além da visão exclusivamente patrimonialista [...]”. Mas a autora amplia essa discussão ao afirmar que, na atualidade, o posicionamento do Direito é reflexo da situação pela qual a ciência vem passando. Essa situação é caracterizada: por forte interação ciência-indústria; pelo enaltecimento do conhecimento científico, entre outros. Assim, segundo a autora, essa proximidade entre ciência e indústria foi marcada por uma *ruptura epistemológica*, pois sua consequência imediata é a pressão por resultados, a valorização de especialidade, separando ainda mais o conhecimento da sociedade. (2006, p. 309).

A principal característica da interação ciência/indústria, segundo a autora, está no fato de a ciência perder seu *status* de neutralidade, pois passa a agir de acordo com o mercado, e este por sua vez, não tem limite na busca de atender a ansiedade social por novos produtos e novas tecnologias (MOREIRA, 2006, p. 309).

O reconhecimento dessa situação passa a ter extrema importância, segundo Moreira (2006, p. 309), pois “alguns importantes elementos passam a ter menor importância nas discussões sobre a regulamentação de tecnologias como a nanotecnologia”, ou seja, como o mercado passa a definir as áreas prioritárias de interesse, o sistema econômico passa a ser privilegiado em detrimento de todos os demais sistemas sociais, incluindo-se o Direito.

De acordo com a Declaração contendo os Princípios para a fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais (2007), o segundo princípio analisado se refere à “Regulação Nano Específica Compulsória”, no qual resta claramente posicionado

que serão necessárias mudanças estruturais regulatórias no sistema legal. Nesse aspecto afirma:

Mesmo onde a autoridade legal é exercida, é bastante provável que profundas mudanças regulatórias sejam necessárias a fim de abordar adequada e efetivamente as diferentes propriedades dos nanomateriais e os novos desafios que estes representam. As leis atuais estão ainda menos equipadas para fiscalizar produtos e processos tais como nanosistemas e nanoestruturas ora em desenvolvimento. (Princípios para a fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais, 2007).

Mas, as afirmações contidas nessa Declaração vão além, pois, segundo esse documento, “as agências governamentais até o momento vêm falhando no uso de sua atual autoridade regulatória”, uma vez que todo o arcabouço jurídico envolvendo regulação deve ser ajustado para aplicação imediata, mesmo que temporária, até que “mecanismos de fiscalização nano específicos possam ser formulados e implantados”. (Princípios para a Fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais, 2007).

De acordo com Berger Filho (2010), na maior parte dos ordenamentos jurídicos nacionais, e mesmo no Direito Internacional, ainda são incipientes as iniciativas de proteção jurídica contra os riscos da nanotecnologia. Como afirma Moreira (2006, p. 310), “tudo o que o Direito pode dar é uma pequena contribuição ao delicado equilíbrio entre o desejo por novas tecnologias e a preocupação com os riscos que isso comporta”.

Um importante questionamento que precede o Direito positivado, em sua forma propriamente dita (leis, decretos, normas, etc.), é saber se o País deve ser conduzido a uma regulação ou a uma regulamentação? (MOREIRA, 2005, p. 311). Pois, como a autora afirma, ao assumir a regulamentação como marco basilar, pode-se atingir diversos fins, desde a potencialização da tecnologia ou um sistema de proteção do cidadão. Ao se optar por uma regulação, poderia ser adotado o modelo norte-americano, em que as Agências de Regulação, segundo Rochael (2004), pregam a total ausência de influências políticas nas decisões dessas agências, além do que “o direito administrativo americano transfere para as agências o controle do mercado econômico”.

Com o objetivo de buscar respostas e paradoxalmente formular novos questionamentos a respeito de um marco de sustentação da nanotecnologia na

sociedade, Berger Filho apresentou diferentes perspectivas para a gestão dos riscos que dizem respeito a essa nova tecnologia, observando critérios legais e normas de conduta não jurídicas:

*1) Regulamentação legal:*

a) A utilização da legislação estatal existente e de tratados internacionais internalizados (ratificados).

i) É necessário inserir novos artigos nos textos legais já existentes, tratando de forma diferenciada a nanotecnologia ou as normas existentes são suficientes para gerir os riscos das nanotecnologias?

ii) Seria necessário a proposição da inserção de preceitos relativos à “nanosseguurança” em tratados internacionais já existentes – sejam eles cogentes (hard law) ou não cogentes (soft law) – ou os tratados ratificados pelo Brasil são suficientes?

b) A criação de um marco legal nacional para a “nanosseguurança”:

i) Além do marco regulatório geral o ordenamento necessitaria de norma especial para cada especificidade apresentada pelas diferentes formas de nanotecnologia?

ii) As especificidades sobre diferentes pesquisas, produtos e processos e, portanto, diferentes riscos seriam positivadas em normas jurídicas específicas e cogentes ou as especificidades ficariam a cargo da auto-regulação das próprias empresas e do mercado, ou da normatização e da certificação?

iii) Seria necessária a criação de uma estrutura própria com uma instituição nos mesmos moldes do estabelecido para a Biossegurança, uma “Comissão Técnica Nacional de Nanosseguurança” ou uma agência reguladora específica?

c) A elaboração de um tratado internacional específico para a nanotecnologia:

i) O tratado deve ser uma norma obrigatória (hard law), como a proposta feita pelo Grupo ETC, a Convenção Internacional para Avaliação de Novas Tecnologias (ICENT)?

ii) Teria melhor resultado a elaboração de um tratado, tratados internacionais, recomendações de organizações internacionais, protocolos facultativos não obrigatórios, não cogentes (soft law) com Códigos de Conduta, Diretrizes de Boas Práticas para que ocorra um avanço gradual na regulamentação internacional de novas tecnologias?

*2) Auto-Regulação:*

a) Auto-regulação e auto-certificação por empresas através de programas internos de gestão de riscos, apoiados ou não por convênios com a sociedade civil organizada (organizações não-governamentais), universidades ou instituições estatais (órgãos de proteção ambiental ambientais, órgão de saúde...) que servem para dar maior confiabilidade. Ex: Programa Marco de Gestão de Riscos da Du Pont (Nano Risk Framework).

b) A criação de Códigos de Conduta ou Guias de Boas Práticas, estabelecidos por cientistas e instituições do setor, não obrigatórios para a Pesquisa Responsável em Nanotecnologia e Nanociência.

*3) Criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia:*

Normas não jurídicas, mas passíveis de ser impostas pelo sistema legal através de exigências técnicas específicas. (BERGER FILHO, 2010).



A partir desses questionamentos e ponderações, será realizada uma análise que engloba três pontos principais abordados: regulamentação, autorregulação e criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia.

#### **4.2 Regulamentação da nanotecnologia**

A regulamentação é a forma de controle social, através de meios legais (leis, decretos, resoluções, etc.) pelos quais poderiam ser prevenidos danos à nanotecnologia e fiscalizar sua comercialização e produção, além de realizar uma gestão dos riscos que envolvem essa tecnologia. Bem como ser utilizada como acoplamento estrutural entre a tecnologia e a sociedade.

Para dimensionar a questão envolvendo os nanomateriais Paschoalino, Marcone e Jardim (2010) afirmam que “a regulamentação dos nanomateriais é imprescindível, pois até 2008, segundo PEN (*Project on Emerging Nanotechnologies*), o número de produtos com algum componente nanométrico chegou a cerca de 800”, sendo que o setor de semicondutores e metade do setor farmacêutico estarão dependentes desses novos materiais. Tanto nos Estado Unidos, através do *Environmental Protection Agency* (EPA), como na União Europeia, através da *Registration, Evaluation, Authorisation & Restriction of Chemicals Competent Authorities* (REACH CA), é visível a falta de legislação que regulamente o uso de produtos nanotecnológicos.

De acordo com Berger Filho (2010), no Brasil, “o desenvolvimento de normas jurídicas relativas à nanotecnologia se dá principalmente no que concerne à promoção de políticas de incentivo e cooperações tecnológicas”, pois não se encontra proteção legal específica, tanto envolvendo a sociedade como o meio ambiente, em relação aos potenciais riscos que poderão advir da nanotecnologia. No entanto, verifica-se a existência de normas nacionais e de âmbito internacional, que podem ser utilizadas, de acordo com o quadro a seguir:

Subsistema jurídico	Normas vigentes no Brasil (Constituição Federal, tratados, Leis, Decretos, Resoluções)
<p><u>Direito do Consumidor</u></p> <p>Como estabelecer um sistema de normas para garantir a segurança no consumo de produtos derivados da nanotecnologia?</p> <p>É necessário impor à indústria e ao comércio a identificação dos produtos da nanotecnologia?</p> <p>Como responsabilizar danos ao consumidor?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Art. 5º, XXXII – Constituição Federal</li> <li>▪ Lei 8.078/90 – Código de Defesa do Consumidor</li> <li>▪ Decreto 4680/2003 – Rotulagem de Organismos Geneticamente Modificados no Brasil</li> <li>▪ Projeto de Lei do Senado Federal 131/2010</li> <li>▪ Lei 7.347/85 – Lei da Ação Civil Pública</li> </ul>
<p><u>Direito Sanitário e Direito da Alimentação</u></p> <p>Quais critérios devem ser adotados para avaliar toxicidade, em alimentos e medicamentos, da nanotecnologia para o ser humano?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lei 6.437/77 – Estabelece as sanções às infrações à legislação sanitária federal</li> <li>▪ Lei 9.782/99 – Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária</li> <li>▪ Resoluções da Anvisa para remédios e segurança alimentar</li> <li>▪ Normas Internacionais da Organização Mundial de Saúde (OMS)</li> <li>▪ Normas da <b>Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO)</b>. Ex: Codex Alimentarius.</li> </ul>
<p><u>Direito do Trabalho</u></p> <p>Quais práticas devem ser limitadas e quais devem ser proibidas?</p> <p>Quais diretrizes deverão ser estabelecidas para diminuir impactos da nanotecnologia na saúde do trabalhador?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição Federal de 1988 – Art 7ª, XXII. (Redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio de normas de saúde, higiene e segurança)</li> <li>▪ Convenções da Organização Internacional do Trabalho (OIT): Convenção 170, Produtos Químicos, Convenção 155, Segurança e Saúde dos Trabalhadores, Convenção 148, Meio Ambiente de Trabalho (contaminação do ar, ruído e vibrações)</li> <li>▪ Decreto-Lei 5.452/43</li> <li>▪ Normas Regulamentadoras (NR's) Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho, do Ministério do Trabalho e Emprego: NR9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, NR15 – Atividades e Operações Insalubres, NR25 – Resíduos Industriais.</li> </ul>
<p><u>Direito Ambiental</u></p> <p>Como estabelecer políticas adequadas para a gestão de riscos da nanotecnologia para o meio ambiente?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição Federal de 1988 – Direito Fundamental ao Meio ambiente ecologicamente equilibrado das presentes e futuras gerações. [...] II– fiscalização pelo Estado das entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético; [...] IV – exigência do Estudo prévio de impacto ambiental; V controle da produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente. [...]; § 3º impõe a</li> </ul>

<p>Como aplicar o princípio da precaução de forma adequada?</p> <p>Como responsabilizar os causadores de danos ambientais ocasionados pela nanotecnologia?</p>	<p>responsabilização integral por danos ambientais (responsabilidade civil, criminal e administrativa).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lei 6.938/81 – Política Nacional do Meio Ambiente;</li> <li>▪ Resolução conama 01/81 – Estudo de Impacto Ambiental (eia/rima); 01-a/86 – Transporte de produtos perigosos em território nacional; 23/96 – Importação e exportação de resíduos perigosos no território nacional.</li> <li>▪ Lei 7.347/85 – Lei da Ação Civil Pública</li> <li>▪ Lei 7.802/89 – Lei de Agrotóxicos</li> <li>▪ Lei 9.605/98 – Lei dos Crimes Ambientais</li> <li>▪ Lei 11.105/2005 – Lei de Biossegurança</li> </ul>
<p><u>Direito Internacional</u></p> <p>Como regular o comércio de substâncias tóxicas e de resíduos da nanotecnologia, especialmente para impedir a formação e ampliação de um mercado negro e comércio ilegal, no plano internacional?</p> <p>É necessário e factível o estabelecimento de uma política global comum de gestão dos riscos da nanotecnologia?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Convenção sobre Diversidade Biológica (1992) e Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança (2000)</li> <li>▪ Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito (1989)</li> <li>▪ Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (2001)</li> <li>▪ Convenção de Roterdã sobre o Procedimento de Consentimento Fundamentado Prévio Aplicável a Certos Pesticidas e Produtos Químicos (PIC)</li> <li>▪ Barreiras não-tarifárias (BTNs) da Organização Mundial do Comércio (OMC) <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio (TBT)</li> <li>b) Acordo sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (SPS)</li> <li>c) Exigências Laborais e Ambientais</li> </ul> </li> </ul>
<p><u>Normas sobre Patentes</u></p> <p>Quem são os principais depositantes de patentes? De que nacionalidade eles são? Quais são as áreas mais solicitadas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Convenção de Paris</li> <li>▪ Lei 9.79/96 – Lei da Propriedade Industrial. Atualizada pela Lei 10.196/01</li> <li>▪ Acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio – TRIPS</li> <li>▪ Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes – PCT</li> <li>▪ Organização Mundial da Propriedade Intelectual – OMPI.</li> </ul>

**Quadro 4:** Relação de normas nacionais e internacionais.

Fonte: BERGER FILHO (2010)

A seguir serão abordados, dentro de cada um dos subsistemas do direito acima citados, sua relação com a nanotecnologia e, dessa forma, buscar demonstrar e observar, quais são alguns dos instrumentos legais existentes e que poderão temporariamente ser aplicados à tecnologia nano.

#### **4.2.1 Direito do consumidor e nanotecnologia**

A principal característica de uma *sociedade do consumo*, segundo Baumam (2008, p. 63), reside na satisfação dos desejos humanos, que “nenhuma sociedade do passado pôde alcançar, ou mesmo sonhar”. O grande problema da satisfação social, com base no consumo, reside na política da obsolescência, seja ela planejada, seja perceptiva, o que força incansavelmente a matriz industrial a lançar novos produtos, e que acaba pela entrada no mercado, por *força consumerista*, de produtos que não estão devidamente qualificados, ou, ainda pior, não possuem a adequada gestão de risco.

Dessa forma, surgem questões como: De que maneira estabelecer um sistema de normas para garantir a segurança no consumo de produtos derivados da nanotecnologia? É necessário impor à indústria e ao comércio a identificação dos produtos da nanotecnologia? Como responsabilizar danos ao consumidor?

Essas preocupações também foram arguidas pela Organização Regional Interamericana de Trabalhadores e pela Confederação Sindical Internacional, com base no documento denominado “Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais” (2007). No princípio oitavo foi descrita a “Responsabilidade Civil do Fabricante”:

Os nanomateriais tomaram de assalto o mercado, rotulados de substâncias milagrosas com qualidades notáveis que os tornam desejáveis em quase todos os setores da economia. Como o asbesto quando de sua introdução no mercado, os impactos sobre a saúde pública e o meio ambiente provocados pelos nanomateriais pouco foram estudados. Tanto mais que o asbesto, os nanomateriais possuem qualidades (formato, tamanho, reatividade química) que têm o potencial de torná-los particularmente de risco. Os nanomateriais são vendidos ao público em geral em produtos de consumo sem qualquer aviso ou alerta quanto a seu perigo potencial. Além disso, como na indústria tabagista, as nano indústrias parecem contentes em comercializar seus produtos sem entender plenamente os riscos potenciais ou informar o público sobre esses riscos. (Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais, 2007).

Uma situação desse porte causa enorme mal-estar em qualquer cidadão consumidor, pois vem demonstrar que o lucro sobre o produto é uma vantagem

tecnológica sobre a concorrência são fatores mais importantes do que o potencial risco em que os consumidores estão expostos.

A preocupação a esse respeito é tão grave que a Proposta de Resolução sobre os aspectos regulamentares dos nanomateriais (2009), da União Europeia, concluiu pela inexistência de informações claras sobre a utilização de nanomateriais em produtos de consumo; contudo, verificou que o termo *nano* tem um efeito positivo no *marketing*.

A proposta da União Europeia ressaltou ainda que diferentes categorias de pessoas possam estar em risco, nas diversas fases de vida do produto: desde as fases de produção e manuseamento, na embalagem, no transporte e na manutenção, durante a eliminação e demolição, e, ainda e principalmente, os usuários finais, os consumidores. Assim, exortou a aplicação do princípio “sem informação, não há acesso ao mercado” em relação a todos os produtos que utilizam nanomateriais, com potenciais impactos de risco para a saúde e o ambiente.

Em relação aos dispositivos legais que atualmente vigem no Brasil, que tem por objeto a proteção dos consumidores, destacam-se a referência em nossa Carta Magna, no inciso XXXII, do art. 5º, em que o Estado promoverá a defesa do consumidor, na forma da lei.

Essa proteção, contida na Lei 8.078/90, com destaque para o art. 6º, prevê, como direitos básicos do consumidor: a proteção da vida, saúde e segurança contra riscos, a adequada informação sobre os diferentes produtos; além da efetiva prevenção e reparação dos danos, entre outros.

No que se refere à rotulagem, existe o Decreto 4.680/03, que diz respeito à Rotulagem de Organismos Geneticamente Modificados no Brasil, que poderia ser utilizado, através da analogia, até a formulação de uma norma específica sobre nanotecnologia. É importante frisar que consta no Senado Federal o Projeto de lei 131, de 2010, que dispõe sobre a vigilância sanitária a que ficam sujeitos os medicamentos, as drogas, os insumos farmacêuticos e correlatos, cosméticos, saneantes e outros produtos, e dá outras providências, para determinar que rótulos, embalagens, etiquetas, bulas e materiais publicitários de produtos elaborados com recursos da nanotecnologia contenham informação sobre esse fato.

No oitavo princípio do documento, “Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais” (2007), há a afirmação de que todos os envolvidos na cadeia comercial de produtos com nanotecnologia (pesquisadores,

fabricantes, varejistas) devem responsabilizar-se por eventuais problemas que seus produtos possam ocasionar. A partir disso concluiu-se que,

conquanto ações judiciais contra produtos sejam a principal responsabilidade da indústria de nanomateriais, outras formas de responsabilização, tais como negligência, responsabilidade derivada, incômodo, fraude e falsidade ideológica, também são relevantes. Além disso, os regimes de fiscalização de nanomateriais devem incluir mecanismos financeiros, mantidos por fabricantes e distribuidores, que assegurem a disponibilidade de fundos para compensar e/ou remediar quaisquer potenciais prejuízos à saúde, ao trabalho e ao meio ambiente. (Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais, 2007).

Assim, não resta outra forma de efetivar o princípio da precaução e, conseqüentemente, proteger o consumidor final, senão houver a responsabilização daqueles que deveriam realizar uma adequada gestão dos riscos, sejam eles dos setores de desenvolvimento da nanotecnologia, sejam do setor de comercialização, e que, por alguma razão, vierem a causar danos à saúde das pessoas ou ao meio ambiente.

#### ***4.2.2 Direito sanitário, direito da alimentação e nanotecnologia***

Segundo o Grupo ETC, há muito tempo a civilização tem usado tecnologias de modificação genética (natural) para ter novos sabores, texturas, cores e outras qualidades nos alimentos, intensificada nas últimas três décadas. A tecnologia que envolve a engenharia de alimentos, surge como “potencial de mudar drasticamente a maneira como os alimentos são produzidos, cultivados, processados, embalados, transportados e mesmo comidos”. (2005, p. 141).

Com a identificação desse enorme potencial, a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) realizaram uma investigação para determinar as implicações da nanotecnologia na segurança alimentar.

Em meados de 2009, um grupo de especialistas concentrados em três áreas específicas: o uso de nanotecnologia na produção de alimentos e da transformação; o potencial para a saúde humana quanto aos riscos associados a essa utilização, e

os elementos de diálogo construtivo entre as partes envolvidas na nanotecnologia, finalizaram o documento denominado *The application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications* (2009).

Nesse estudo, houve o reconhecimento de que a avaliação dos riscos utilizados pela FAO/OMS é adequada para os nanomateriais; no entanto, dado o diminuto tamanho das partículas, surgem novas características totalmente desconhecidas, que podem dar origem a perfis de toxicidade alterados. Assim, concluiu-se que as organizações parceiras desse estudo, devem continuar a rever suas estratégias de avaliação dos riscos, por meio de métodos diferenciados.

Na mesma linha, o Relatório da União Europeia sobre os aspectos regulamentares dos nanomateriais (2009), reconheceu, entre outros pontos, que os atuais conhecimentos acerca da toxicidade das nanopartículas são limitados, além de não haver informações completas quanto aos riscos de diferentes nanopartículas. No tocante a segurança alimentar, a prevenção tem uma importância crucial para a mitigação dos riscos.

Com o intuito real de estabelecer critérios de precaução, foi aditado um projeto de resolução legislativa do Parlamento Europeu A7-0152 (2010), relativo a novos alimentos, que entre outros pontos de modificação, destaca:

Os alimentos a cuja produção tenham sido aplicados processos que exigem métodos de avaliação específicos (por exemplo, alimentos produzidos com nanotecnologias) não podem ser incluídos na lista comunitária enquanto esses métodos não tiverem sido aprovados para utilização e uma avaliação de segurança adequada com base nesses métodos não tiver demonstrado que a utilização dos respectivos alimentos é segura. [...] Os métodos de ensaio actualmente disponíveis não são adequados para avaliar os riscos associados aos nanomateriais. Deverão ser desenvolvidos urgentemente métodos de ensaio de nanomateriais que não utilizem animais. (Projeto de resolução legislativa do Parlamento Europeu A7-0152, 2010)

A partir das sugestões acima citadas da União Europeia, verifica-se que a questão alimentar que diz respeito aos nanomateriais talvez seja a área que mais carece de pesquisas atualmente, além de apresentar uma série de lacunas nos métodos de avaliação dos riscos para a saúde humana.

No atual ordenamento jurídico, constam normas úteis, apesar de gerais, como a Lei 6.437/77, que estabelece sanções às infrações à legislação sanitária federal; a Lei 9.782/99, que define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária e cria

a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa); as resoluções dessa agência para remédios e segurança alimentar, normas internacionais da Organização Mundial de Saúde (OMS) e as Normas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO).

Além dessas normas, a Instrução Normativa Interministerial 1, de 1º de abril de 2004, definiu os procedimentos complementares para aplicação do Decreto 4.680, de 24 de abril de 2003, que dispõe sobre o direito à informação, assegurado pela Lei 8.078, de 11 de setembro de 1990, quanto aos alimentos e ingredientes alimentares, destinados ao consumo humano ou animal, que contenham ou sejam produzidos a partir de Organismos Geneticamente Modificados, estabelecendo ainda um Regulamento Técnico que está em anexo à Instrução Normativa.

No âmbito internacional, ainda existe o *Codex Alimentarius*, que é um compêndio de normas alimentares, diretrizes e códigos de conduta internacionalmente acordados. A Comissão do Codex Alimentarius (CAC) sobre a normalização dos alimentos foi instituído pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 1962, com a intenção de proteger a saúde da população e assegurar práticas equitativas no comércio de alimentos. O Codex ajuda a harmonizar a legislação e as normas alimentares nacionais dos países que desejam usar seus textos como referência.

No que concerne à verificação da existência de nanotecnologia na alimentação, não há como ser realizada atualmente, tanto pela falta de mecanismos, como pela inexistência de previsão legal no ordenamento pátrio, bem como tratados dos quais o Brasil faz parte. Resta clara a necessidade de adoção de Políticas Públicas no Brasil, referentes à aplicação da tecnologia “nano” em alimentos e na agricultura, até que os riscos potenciais à segurança alimentar não puderem ser medidos e avaliados adequadamente.

#### **4.2.3 Direito do trabalho e nanotecnologia**

Amparado pelo exposto no quadro das normas jurídicas, existem muitas questões envolvendo a relação entre a nanotecnologia e o Direito do Trabalho, tais



como: Quais as práticas que devem ser limitadas e quais devem ser proibidas? Quais diretrizes deverão ser estabelecidas para diminuir os impactos da nanotecnologia na saúde do trabalhador?

Antes de buscar possíveis respostas a essas perguntas, é necessário que haja um esclarecimento sobre a amplitude do ambiente de trabalho e da expansão comercial dos produtos contendo nanotecnologia.

De acordo com Garí (2010), a humanidade encontra-se na iminência de uma nova revolução industrial, guiada pelas nanociências, cujas consequências não são possíveis de previsão. Diante do atual avanço da nanotecnologia nos parques industriais, ele relata a seguinte situação:

Não há investimento em segurança nem em avaliação de riscos laborais, ambientais ou sociais, nem se realizaram estudos do ciclo de vida dos produtos nano. [...] Face ao desprezo pelos riscos por parte de corporações e administrações uma coligação de 44 organizações sindicais, ambientais e de defesa da saúde pública e partidárias da necessidade de legislação pública, incluindo a UITA, CSI e a AFL CIO, BCTGM e United Steelworkers dos EUA, fez um apelo a favor duma regulação ampla e enérgica aos níveis da nanotecnologia e seus produtos. A tecnologia, diz a coligação, impõe riscos específicos que requerem regulamentação específica, transparência e participação da sociedade nas decisões. (GARÍ, 2010).

Mas quais são os riscos diretos que envolvem a manipulação dos nanomateriais e os trabalhadores? A Organização Regional Interamericana de Trabalhadores e a Confederação Sindical Internacional com base no documento denominado “Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais” (2007), no terceiro de oito princípios elaborados, busca respostas para a pergunta do início deste parágrafo.

O terceiro princípio da Declaração acima citada denomina-se “Saúde e Segurança do Público e dos Trabalhadores”, e aborda a preocupação com os riscos advindos das nanopartículas livres (nanomateriais não presentes em outros materiais) e dos trabalhadores expostos a elas.

Devido ao seu tamanho, as nanopartículas podem atravessar membranas biológicas, células, tecidos e órgãos mais rapidamente do que partículas maiores. Quando inaladas, elas podem ir dos pulmões à corrente sanguínea. Há um acúmulo de evidências indicando que os nanomateriais podem penetrar uma pele intacta, principalmente na presença de surfactantes ou pelo massagear ou flexionar da pele, e ter acesso à circulação sistêmica. Quando ingeridos, os nanomateriais podem passar

através da parede estomacal à circulação sangüínea. Uma vez na corrente sangüínea, os nanomateriais podem circular através do corpo e alojar-se em órgãos e tecidos, incluindo o cérebro, o fígado, o coração, os rins, o baço, a medula e o sistema nervoso. Uma vez dentro das células, eles podem interferir com a função celular normal, causar dano oxidático e mesmo morte celular. (Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais, 2007).

Para Foladori e Invernizzi (2007), apesar de já existirem algumas provas e a maior parte dos organismos públicos de avaliação dos riscos da nanotecnologia reconhecerem a existência de um alto grau de toxicidade nas nanopartículas, ainda são raras as evidências científicas em relação a esse assunto, uma vez que não existe consenso na comunidade acadêmica em relação à metodologia, e avaliação dos dados quanto à nanotecnologia. Com base nesses fatores, a União Internacional de Trabalhadores da Alimentação, Agrícolas, Hotéis, Restaurantes, Tabaco e Afins (UITA) emitiu uma Resolução (2006) posicionando-se contra a liberação de produtos que contenham elementos a base de nanomateriais no mercado, até que haja elementos científicos que afastem os potenciais riscos advindos dessa nova tecnologia.

A preocupação e gestão dos riscos da nanotecnologia que se referem à saúde do trabalhador, geraram um Manifesto Público (2010) das entidades promotoras do “I Simpósio Internacional dos Impactos das Nanotecnologias à Saúde dos Trabalhadores e ao Meio Ambiente”, realizado em São Paulo, entre os dias 25 e 27 de maio de 2010, denominado “Direito à informação e recursos para identificar riscos das nanotecnologias à saúde dos trabalhadores e ao meio-ambiente” (2010). Entre as abordagens principais do manifesto destacam-se:

- O papel fundamental do princípio da precaução na abordagem dos riscos éticos, sociais e ambientais advindos do uso das nanotecnologias e dos nanomateriais manufaturados em todo seu ciclo de vida;
- A necessidade das empresas fornecerem para os trabalhadores informação adequada sobre a presença dos nanomateriais manufaturados, seus potenciais riscos e medidas de prevenção, antes da sua introdução no processo produtivo;
- A necessidade de rotulagem e Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), com informação de que o produto incorpora nanotecnologias e a presença de nanomateriais manufaturados, a fim de informar os trabalhadores e os consumidores sobre os potenciais riscos;
- A produção e difusão de informações sobre os riscos éticos, sociais e ambientais advindos do uso das nanotecnologias, visando o debate com o público não especialista e o engajamento público em relação ao tema. (Manifesto Público, 2010).

Iniciativas como essa demonstram o cuidado que o Movimento Sindical no Brasil tem ao tratar do tema; acima disso, destacam que os nanomateriais já são uma realidade em mais de uma centena de fábricas no Brasil, e que é necessária a participação governamental na elaboração de normas e políticas públicas em relação a essa nova tecnologia.

Retornando às questões iniciais deste item, verifica-se a existência em nosso ordenamento jurídico, e mesmo em tratados e convenções internacionais, aspectos que delimitam e asseguram a proteção dos trabalhadores, frisando que essa proteção é dirigida de forma geral e indireta, não contendo nada em nossas leis específicas no que se refere à nanotecnologia.

Um exemplo dessa proteção geral e indireta é o conteúdo do art. 7º, da nossa Constituição Federal, que estabelece a “Redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio de normas de saúde, higiene e segurança”, ou seja, independentemente da origem e da constituição do material ao qual o trabalhador será exposto, em seu local de trabalho, sempre deverá haver uma exposição compatível com a saúde de quem esteja diretamente envolvido.

Mas, além dessa proteção na Constituição Federal do Brasil, existem outras normas legais, como as Convenções da Organização Internacional do Trabalho (OIT): Convenção 170, Produtos Químicos; Convenção 155, Segurança e Saúde dos Trabalhadores; Convenção 148; Meio Ambiente de Trabalho (contaminação do ar, ruído e vibrações); as normas contidas na Lei 5.452/43, Consolidação das Leis do Trabalho (CLT); Normas Regulamentadoras (NR's) do Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho, do Ministério do Trabalho e Emprego, entre outras.

Contudo, apesar de haver esse cabedal de normas jurídicas a respeito do Direito do Trabalho e, conseqüentemente, de proteção aos trabalhadores, deve-se ter em mente que essas normas deverão ser temporárias, pois urge uma regulamentação específica da nanotecnologia, dada sua complexidade e interligação com diversas outras áreas do saber.

Dessa forma, como assevera o terceiro princípio do documento Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais (2007), “qualquer regime regulatório destinado à proteção dos trabalhadores com relação aos efeitos sobre a saúde dos nanomateriais demanda programas de segurança e saúde voltados para a questão da nanotecnologia no local de trabalho”. É urgente, portanto, a necessidade de normas específicas que estejam relacionadas com os

nanomateriais, pois a lista de produtos fabricados, a partir dessa nova tecnologia, já é bastante abrangente.

#### **4.2.4 Direito ambiental e nanotecnologia**

Segundo Martins (2008), a questão relacionada à oportunidade tecnológica e ao meio ambiente aponta que a nanotecnologia proporcionará um menor uso de matérias-primas e energia na produção dos produtos já conhecidos, o que implica diretamente na proteção dos ecossistemas naturais.

Ocorre que, no quarto princípio do documento “Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais” (2007), os nanomateriais liberados na natureza representam uma nova classe de poluentes manufaturados, pois pode-se esperar por potenciais impactos ambientais (mobilidade e persistência no solo, água e ar, bioacumulação e interações imprevistas com materiais químicos e biológicos).

Para o Fundacentro (2008, p. 33), o *nanoefeito* somente é aplicado aos nanomateriais ou às reações que acontecem até um determinado tamanho de partícula específica. Esses efeitos que não seriam observados nas mesmas partículas em tamanho macro. A grande preocupação em relação ao meio ambiente é a falta de pesquisa e informações sobre se esse comportamento afetará definitivamente ou não os sistemas ambientais.

Nesse mesmo sentido, Ramos (2006) afirma que a complexidade encontra-se na falta de conhecimento acerca da nanociência e nanotecnologia, uma vez que nessas lacunas são identificadas: a insuficiente definição *do ponto* no qual de fato as propriedades mudam em relação ao tamanho (macro/micro/nanoescala); a limitada clareza sobre essas propriedades da nanoescala e o quase nulo conhecimento sobre as implicações da interação de tais ou quais nanoestruturas com o meio natural.

Nesse contexto, surgem invariavelmente questões como: De que forma estabelecer políticas adequadas para a gestão de riscos da nanotecnologia para o meio ambiente? Como responsabilizar os causadores de danos ambientais

ocasionados pela nanotecnologia? Somente a precaução basta para o eficaz controle dos possíveis impactos ambientais?

Apesar de a legislação brasileira estar suficientemente munida de um vasto leque de possibilidades jurídicas, no que tange aos sistemas ambientais, somente essas leis não respondem satisfatoriamente às questões argüidas. No máximo, sua eficácia encontra-se no lapso temporal até a formulação de leis específicas.

Dentre as principais normas jurídicas envolvendo o tema de forma indireta, destacam-se: a Constituição Federal de 1988, que estabelece, em seu art. 225, normas protetivas às presentes e futuras gerações, fundadas no direito fundamental do Meio Ambiente ecologicamente equilibrado; a Lei 6.938/81 – Política Nacional do Meio Ambiente; a Lei 7.347/85 – Lei da Ação Civil Pública; Lei 7.802/89 – Lei de Agrotóxicos; Lei 9.605/98 – Lei dos Crimes Ambientais; Lei 11.105/2005 – Lei de Biossegurança. Além das resoluções do Conama.

Dessa forma, como destacado no quarto princípio do documento “Princípios para a Fiscalização de Nanotecnologias e Nanomateriais”, o surgimento dos nanomateriais causa imensa dificuldade para aplicação dos regimes de proteção ambientais, uma vez que os órgãos de fiscalização não possuem ferramentas e mecanismos de baixo custo para detectar, monitorar, medir e controlar nanomateriais industrializados, e aquém ainda de remoção de nanomateriais na natureza. Portanto, as normas jurídicas vigentes não possuem análises e dados dos ciclos de vida, que salientam ainda mais as brechas regulatórias existentes.

A relação estabelecida entre nanotecnologia e meio ambiente talvez seja o elo mais fraco entre os diversos subsistemas jurídicos; paradoxalmente é o mais vital para a sustentabilidade da vida humana neste planeta. Assim, requer que haja medidas mais efetivas na busca de uma regulamentação satisfatória e efetiva e na busca do manejo sustentável dos nanomateriais no meio ambiente.

#### **4.2.5 Normas sobre patentes e nanotecnologia**

É de suma importância estar atento às questões relativas às patentes em nanotecnologia, pois, a partir dos depósitos de patentes, é possível traçar um mapa que responde questões como: Quem são os principais depositantes de patentes? De

que nacionalidade eles são? Quais são as áreas mais solicitadas? Entre outras áreas de grande importância no desenvolvimento tecnológico de uma nação. Mas, antes de fazer uma análise específica sobre essas questões, serão realizadas abordagens acerca da propriedade industrial e a proteção legal que a envolve.

Para Varella (2005, p. 35), “os direitos de propriedade intelectual opõem obstáculos à imitação. São designados para estimular a inovação e a criação, oferecendo a perspectiva de uma recompensa monetária”. Assim, conforme o autor, os legítimos titulares do objeto intelectual produzido poderiam reaver o investimento que tiveram com a pesquisa e, conseqüentemente, na lógica capitalista, obter lucros.

Os direitos de propriedade industrial foram regulados, inicialmente, no âmbito internacional pela “Convenção da União para a Proteção de Propriedade Industrial”, em Paris, no ano de 1883. Na atualidade, a Propriedade Intelectual se apresenta como um direito altamente especializado, complexo e internacionalizado. No âmbito da Organização das Nações Unidas a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) é a agência especializada responsável pelo fomento da proteção dos direitos de propriedade intelectual, mediante a cooperação dos Estados e a colaboração de outras organizações internacionais, especialmente da Organização Mundial do Comércio (OMC).

Atualmente, em todo o mundo se observa o predomínio das normas estabelecidas pela Organização Mundial do Comércio (OMC), através de seu Acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual, relacionados ao Comércio (ADPIC – TRIPS), com um reconhecido papel central em resolução de conflitos e nas discussões referentes à unificação das leis nacionais e regionais que envolvem direitos intelectuais ligados ao comércio. A *Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (TRIPS) celebrada em 1994 no âmbito da OMC (Organização Mundial do Comércio), foi internalizada no ordenamento brasileiro após ter sido aprovada pelo Congresso Nacional, pelo Decreto Legislativo 30, de 15 de dezembro de 1994, que aprovou a ata final aos resultados da Rodada Uruguaí de Negociações Comerciais Multilaterais do GATT, assinada em Maraqueche, em 12 de abril de 1994, ratificada então no plano internacional e posteriormente entrou em vigor no Brasil por meio do Decreto Presidencial 1.355, de 30 de dezembro de 1994.

No Brasil, os direitos industriais atualmente são regulados pela Lei 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial), formulada principalmente com base no modelo de

direitos intelectuais relacionados ao comércio estabelecido pelo TRIPS, sendo que houve uma atualização através da Lei 10.196/01, para a regulação dos direitos e das obrigações relativos à propriedade intelectual.

É importante ressaltar, de acordo com Silva (2006, p. 305), que, “a partir do GATT/TRIPS/94, ocorreu uma globalização dos registros de marcas e patentes, de maneira que uma vez registrado um produto, marca ou invenção, seus efeitos foram estendidos a todos os países signatários”.

O órgão responsável por esse setor que diz respeito à propriedade intelectual no Brasil, é o INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual), que divulgou em fevereiro deste ano (2010), relativo ao segundo semestre de 2009, um “Alerta Tecnológico” a respeito dos pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia.

Esse relatório vem de encontro a muitos dos questionamentos relacionados ao desenvolvimento da nanotecnologia, além de apontar as nações que estão na vanguarda dessa área.

Inicialmente os pesquisadores do INPI destacaram que a grande parte dos pedidos de patentes ainda continua sendo feita pelas universidades. No segundo semestre de 2009, foram verificados 4.277 documentos de patentes que abordam tecnologias nanotecnológicas.

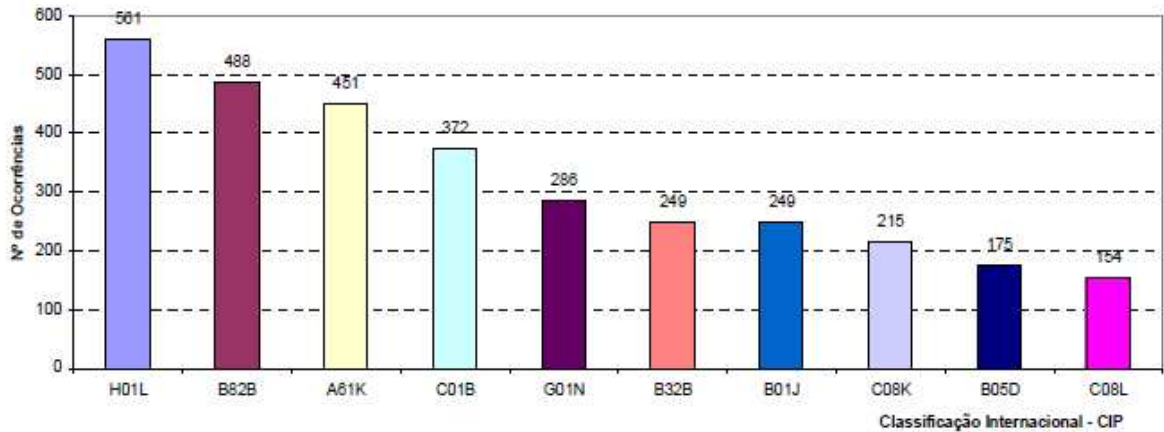
As cinco nações que estão na ponta de depósitos de patentes referente à nanotecnologia são: Estados Unidos da América, Japão, China, Coreia e Alemanha. Esse dado é crucial, pois, em regra geral, as tecnologias estão sendo desenvolvidas nos países indicados, pois os depositantes fazem seus pedidos a partir de seus países de origem.

Em relação ao Brasil, os pesquisadores do INPI afirmaram que,

o Brasil aparece em 12º lugar no ranking de países de prioridade, ou seja, foi o país escolhido para ser efetuado o primeiro depósito. Isto pode, portanto, significar presença brasileira no desenvolvimento de produtos ou processos relacionados à nanotecnologia ou o interesse das firmas estrangeiras no mercado nacional. (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, 2010).

No que se refere às áreas em que as patentes estão sendo depositadas, o gráfico a seguir demonstra que não existe uma predominância expressiva em nenhuma área específica, mas um crescimento em diversas áreas. Sendo que o

gráfico expõe as classificações internacionais de patente (CIP) com maior número de ocorrências nas tecnologias relacionadas a nanotecnologia no 2º semestre de 2009.



**Gráfico 1.** Fonte: Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, 2010.

Os códigos a seguir estão relacionados às áreas de ocorrências dos depósitos de patentes em nanotecnologia, segundo o gráfico acima exposto:

H01L – Dispositivos semicondutores; dispositivos elétricos em estado sólido não incluído em outro local;

B82B – Nanoestruturas; sua fabricação ou seu tratamento;

A61K – Preparações para finalidades médicas, odontológicas ou de toalete;

C01B – Elementos não metálicos; seus compostos;

G01N – Investigação ou análise dos materiais pela determinação de suas propriedades químicas ou físicas;

B32B – Produtos em camadas;

B01J – Processos químicos ou físicos; como ingredientes de composições;

C08K – Uso de substâncias inorgânicas, ou orgânicas não macromoleculares;

B05D – Processos para aplicação de líquidos ou de outros materiais fluentes a superfícies em geral;



C08L – Composições de compostos macromoleculares.

O quadro a seguir expõe a relação dos principais depositantes e o número de patentes publicados no segundo semestre de 2009:

Nome do Depositante	Total de Documentos
HON HAI PREC IND CO LTD [TW]	113
UNIV TSINGHUA [CN]	87
UNIV CALIFORNIA [US]	38
3M INNOVATIVE PROPERTIES CO [US]	38
CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]	36
UNIV QINGHUA [CN]	36
SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR]	33
DU PONT [FR]	30
COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]	30

Fonte: INPI

**Quadro 5.** Fonte: Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, 2010.

Nesse quadro se verifica que uma empresa de Taiwan é a maior depositante. Já em relação aos depositantes de patentes nacionais, de acordo com o Relatório, foram identificadas as empresas Braskem e Petrobrás com quatro pedidos cada; a Universidade Federal de Minas Gerais e a Universidade de São Paulo com três pedidos cada, além da presença de outras universidades com menor número de depósitos.

Verifica-se, mediante o número de patentes depositadas, que a nanotecnologia vem se infiltrando nas mais diversas áreas; no entanto, apesar de haver uma regulamentação a respeito das patentes, será necessário, em um curto lapso de tempo, que sejam editadas normas específicas a respeito dessa tecnologia, pois a maioria das patentes depositadas são de países desenvolvidos. E em áreas essenciais como alimentos e remédios, são poucas as empresas que detêm o direito sobre essas novas tecnologias. O instituto da patente vem deixando de ter seu cunho protetivo contra possíveis concorrentes, como originalmente havia sido concebido, para se tornar um grande *balcão de negócios*, ou seja, grandes conglomerados industriais *depositam* patentes em diversas áreas, para

posteriormente analisar de que forma irão proceder em relação a elas, a patente depositada passa a ter cunho especulativo.

#### **4.2.6 A regulamentação nos relatórios internacionais**

Os pesquisadores brasileiros do Fundacentro realizaram uma análise em alguns dos relatórios internacionais sobre nanotecnologia. Tal análise está contida no Relatório “Nanomateriais: Riscos e Benefícios ambientais e produtos de consumo emergentes” (2008). Dentre as categorias de análise dos nanomateriais, serão analisados os “Aspectos legais e regulamentares”.

A importância desses relatórios encontra-se justamente na falta de debates públicos acerca das nanotecnologias, além de apontar possíveis lacunas e soluções sobre o tema. De acordo com Garí (2010), o escasso desenvolvimento de discussões sobre a nanotecnologia está dividido em quatro aspectos: 1) o potencial da nanotecnologia; 2) a inexistência de gestão de risco de quem trabalha e consome produtos a base de nanoelementos; 3) a inexistência de um quadro regulamentar sobre investigação, desenvolvimento, aplicação e liberação ambiental dos nanomateriais; 4) os possíveis ganhos e aplicações futuros.

A reflexão acerca dos Relatórios Internacionais permite que sejam realizadas análises comparadas, nas mais diversas áreas, das situações que o Brasil vem enfrentando e terá que enfrentar no tocante à nanociência. Permite antecipar impactos e neutralizar incertezas, pelos quais os países que vêm desenvolvendo a nanotecnologia já passaram e vem passando.

Antes da análise desse quadro, serão descritos os objetivos, as nacionalidades e ano de publicação dos respectivos relatórios utilizados pelos pesquisadores do Fundacentro. (2008, p. 8).

A *U.S. EPA White Paper* é o Relatório Americano da Agência de Proteção Ambiental (2004). O documento descreve o conhecimento científico atual e as suas lacunas relacionadas com os benefícios ambientais possíveis da nanotecnologia, bem como os riscos potenciais de exposição ao ambiente dos nanomateriais.

A FDA Agência Governamental dos Estados Unidos para o Controle de Alimentos e Medicamentos, publicou em 2007 um relatório que destina-se a

contribuir para questões de gestão, relativas à adequação e aplicação da autoridade reguladora da FDA para nanomateriais, e fornecer resultados e recomendações para o comissário da FDA.

O *Woodrow Wilson Center* é um centro norte-americano que agrega grandes pensadores na instituição que leva o mesmo nome. Em 2006, publicou um relatório que descreve as possibilidades de ação governamental para lidar com os efeitos adversos da nanotecnologia, e para fornecer evidências relevantes para determinar o que precisa ser feito para gerir a nanotecnologia.

O *ED-DuPont* é uma companhia multinacional com matriz americana, e que, em 2007, elaborou um documento que abrange o desenvolvimento, a produção, a utilização e a destinação/eliminação do produto fimdevida, com base em nanomateriais, cujo objetivo era seu uso à empresas e outras organizações.

*Québec Commission* é a comissão canadense que, em 2006, publicou um relatório abrangente das implicações éticas, jurídicas e científicas da nanotecnologia, com o objetivo de ajudar a preservar/defender a saúde e o meio ambiente, bem como garantir o respeito a muitos valores como: dignidade, liberdade, integridade, justiça, transparência e democracia.

A *Royal Society* é a Sociedade Real de Londres para o Progresso do Conhecimento da Natureza, que, em 2004, publicou um relatório abrangente destinado a resumir conhecimentos científicos atuais e aplicações da nanotecnologia, bem como identificar implicações possíveis à saúde, à segurança, ao meio ambiente, além de incertezas éticas e sociais.

O *DEFRA* é o Departamento para Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais do Reino Unido, que, em 2006, publicou um esquema de comunicação voluntária para coletar dados de organizações do setor industrial de nanotecnologia, com vistas a ajudar a desenvolver controles adequados dos nanomateriais, para evitar riscos ao ambiente e à saúde humana.

O *SCENIHR* é a sigla para o Comitê Científico dos Emergentes e Recentes Identificados Riscos para a Saúde da União Europeia, que, em 2006, publicou um documento técnico destinado a avaliar a adequação das metodologias de avaliação de risco atuais para nanomateriais, e para fornecer sugestões de melhorias para as metodologias.

O *IRGC* é uma organização independente, que busca ajudar na compreensão e gestão dos riscos globais em impactos na saúde humana, no meio

ambiente, entre outros. Em 2006, publicou uma carta/resumo destinada a ajudar os *legisladores* de políticas em processos de desenvolvimento e regulamentos que permitam o desenvolvimento e a aceitação pública da nanotecnologia.

Destacadas algumas das instituições e seus relatórios acerca da nanotecnologia, o Fundacentro elaborou o quadro a seguir:

	Aspectos de pesquisa e ciência				Aspectos de regulamentação e legal				Engajamento público e parcerias				Liderança e governança			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
USEPA White Paper	■	■	■	■	■	•	•	•	■	?	■	•	•	■	•	
FDA	■		■			■	■		■	•	•		•			
Woodrow Wilson Center	•	•	■	•	■	■	■	•	■	■	■			•	■	•
ED-DuPont	■	■	■	■	■	•			•	•			■	•	■	•
Québec Commission	•	■	■	■	■	■			■	•	■	■	■	■	•	■
Royal Society	■	■	■	■	•	■	■	•	■	■	•	■	•	■	•	•
DEFRA	•	•	•	•	■				•	•	•					
Responsible NanoCode			•		■											
EC SCENIHR	■	■	■	■												
EC Action Plan	•	•	•	•		•			■	■	■	■		•	•	
IRGC Policy Brief	•	■	■	■	■	•			■	■	■	■	•	■	•	•
IRGC White Paper 1	•	•	■	■	•	•	•	•	■	■	■	■	■	■	■	■
IRGC White Paper 2	•	■	■	■	•	•	•	•	■	■	■	■	■	■	■	■

Legenda: os critérios são numerados de 1 a 4 no âmbito de cada categoria, para cada documento e critério: ■ = documento discute os critérios, • = documento menciona os critérios, e em branco = documento não aborda critério.

**Quadro 6.** Fonte: Fundacentro (2008, p. 23).

Ao observar o quadro acima, verifica-se o destaque na coluna dos aspectos de regulamentação e legais, objeto da análise em questão; os números nas colunas representam: 1) Regulação voluntária e medidas de boas práticas; 2) Instrumentos

reguladores baseados em informação; 3) Instrumentos reguladores baseados em economia; 4) Instrumentos reguladores baseados em responsabilidade.

Denota-se claramente, como destacam os pesquisadores do Fundacentro (2008, p. 22), em relação ao quadro anteriormente exposto, que a gestão dos nanomateriais está centralizada nos aspectos científicos e de pesquisa. Já os aspectos de regulamentação (em destaque no quadro) têm sido pouco analisados, além de demonstrar que as instituições vêm deixando marginalizadas discussões nesse sentido.

No entanto, essa lacuna vem sendo suprimida por análises mais recentes em relatórios como os da União Europeia, *European activities in the field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology* (2008/02); *Annual Report on Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology* (2010/01); bem como os Relatórios norte-americanos *Regulating Nanomaterials: A Transatlantic Agenda* (2009/02); *Report To The President And Congress On The Third Assessment Of The National Nanotechnology Initiative* (2010/01). Esses documentos carecem de melhor análise pela comunidade acadêmica brasileira.

### **4.3 (Auto)Regulação da nanotecnologia**

De acordo com Teubner (2005, p. 42), a autorregulação é a capacidade que um sistema possui de construir e estabilizar suas próprias estruturas, além do que, se for necessário, poder alterá-las com seus próprios critérios.

Para Luhmann (1983, p. 86), o direito não seria um mecanismo de controle, regulação ou de adaptação da sociedade, já que esses podem ser atributos de outros sistemas funcionais. O direito seria somente um mecanismo de generalização congruente de expectativas normativas, ou seja, com base em critérios passados, como leis e jurisprudência, há como tomar decisões futuras. Apesar de parecer que a sociedade é conduzida pelo Direito, somente afastando o Direito haverá possibilidade de ver que essa ideia não passava de uma ilusão. (LUHMANN, 2002, p. 116).

Crítico da ecologização do Direito, Ost (1995, p. 119) afirma que a atual estrutura de direito, no viés ambiental, é “incompleta e freqüentemente desnaturada”, pois se caracteriza por ser instável, hipertecnicista e muitas vezes ineficaz.

No que tange ao diálogo entre ecologia e direito, é possível estabelecer os mesmos critérios adotados por Ost (1995, p. 110) em relação ao Direito e à nanotecnologia, pois, segundo ele, o “direito tem o costume de se servir de definições com contornos nítidos, critérios estáveis, fronteiras intangíveis”. Esses parâmetros utilizados por todos os sistemas que se defrontam com o direito (ecologia, nanotecnologia, consumidor, etc). Por outro lado, a ecologia e, no caso em questão, a nanotecnologia, necessitam de conceitos sistêmicos (não lineares), além de condições evolutivas, que quando se trata de nanociência deve acompanhar o desenvolvimento tecnológico.

A (auto)regulação tem por objeto a redução do poder estatal, que passa os *ônus/bônus* de uma determinada área para o controle, por exemplo, das agências reguladoras, ou pode deixar às próprias empresas sua gestão (*responsible care*).

Referente ao surgimento das agências reguladoras, de acordo com Bruna (2003, p. 72-73), foi necessário ampliar a esfera originalmente reconhecida ao poder regulamentador, através de duas técnicas: a primeira conferiu mediante autorização legislativa, competências normativas para complementar e particularizar as leis, “limitando-se estas a definir parâmetros genéricos para a atuação do executivo”; esse foi o padrão utilizado pelos Estados Unidos para a criação das agências reguladoras; a segunda atribuiu ao executivo, através do plano constitucional, “a competência para disciplinar um rol de matérias, sem participação, ou com participação limitada do Legislativo”; assim, o Executivo passou a editar regulamentos autônomos ou independentes, por meio de decretos-leis ou medidas provisórias, como no ordenamento francês.

Di Pietro (2003) apresenta dois conceitos de regulação: o primeiro, está relacionado com a regulação econômica, sendo definido como o “conjunto de regras e de controle da atividade privada do Estado, com a finalidade de estabelecer o funcionamento equilibrado do mercado”. Já a regulação na esfera jurídica tem por objeto o “conjunto de regras de conduta e de controle da atividade econômica pública e privada e das atividades sociais não exclusivas do Estado, com a finalidade de proteger o interesse público”.

Aprofundando essa questão da possibilidade de regulação da nanotecnologia, por meio de agências reguladoras, verifica-se a existência de quatro modelos de legitimação organizacional da administração (BRUNA, 2003, p. 57-59).

– *formalista*, que tem por base a burocracia como “mecanismo racional para a implementação dos objetivos para os quais foi criada”, cabendo ao legislador o controle das funções delegadas;

– *especialização*, que “atribui à burocracia um elevado grau de discricionariedade”. Dessa forma, o conhecimento especializado dos burocratas seria o limitador do poder discricionário, e evitaria assim o surgimento de situações de dominação pessoal, além de conferir o bom funcionamento do organismo burocrático, mediante criatividade e flexibilidade;

– *revisão judicial*, tem por viés o controle da atividade burocrática, uma vez que os dois modelos anteriores não seriam totalmente “efetivos” em suas demandas, pois exerceriam somente funções primárias, enquanto o Judiciário agiria de forma limitada e residual. Isso com base na convicção de que “nenhum organismo burocrático é capaz de autopolicar-se”;

– *pluralismo de mercado*, “identifica a legitimidade dos organismos burocráticos com o funcionamento de mecanismos de mercado e de participação política no âmbito das estruturas burocráticas”. Nesse modelo, as forças de mercado ou grupos de interesse são os responsáveis por disciplinar a burocracia.

No Brasil já existe um histórico na criação de Agências de Regulação, que se iniciou na década de 90, com a reforma do Estado articulada pelo governo de Fernando Henrique Cardoso. Dentre elas: A Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Lei 9.782/99 (Anvisa); Agência Nacional do Petróleo, Lei 9.478/97 (ANP); Agência de Telecomunicações, Lei 9.472/97 (Anatel); Agência Nacional de Saúde Complementar, Lei 9.961/00.

Dessa forma, verifica-se que a criação de uma agência de regulação para a nanotecnologia seria viável; no entanto, como afirma Rochael (2004), o Brasil deixaria de ser um Estado produtor de bens e serviços, se consolidasse a política de regulação, para ser um Estado regulador, que apenas passaria a estabelecer regras e se esmerar em sua fiscalização, pelo exercício das atividades inerentes ao poder

de polícia (arts. 173 e 177, CF/88). As atividades econômicas e sociais passariam a ser exercidas de forma indireta.

A partir de outra perspectiva de regulação, os pesquisadores do Fundacentro (2008) abordaram, entre outras, a ideia de regulamentos piramidais, com base na Teoria dos Regulamentos Responsivos (*Responsive Regulation*), conforme a figura, a seguir:



**Figura 3.** Fonte: Fundacentro (2008, p. 24).

A ideia de regulação responsiva está no grau em que a intervenção e supervisão reguladora é fundada numa avaliação constante das condições de mercado e desempenho da comunidade regulamentada, ou seja, não existe uma regra “fixa e geral” para tudo e todos. Dessa forma, “o auto-regulamento e as melhores práticas são características da base da pirâmide, que representam a maior parte dos materiais que podem ser manipuladas, informalmente, sem fiscalização por agências reguladoras” (FUNDACENTRO, 2008, p. 24). Conforme se verifica na figura, a abordagem responsiva é mais severa e punitiva no topo da pirâmide, ou seja, a resposta dos limites regulares depende das atividades de autorregulação individualizadas, pois assim haverá evoluções científicas em caso de sucesso ou responsabilizações em caso de danos/perigos e riscos. (FUNDACENTRO, 2008, p. 24-25).



Na mesma linha de regulação, foi descrita, no relatório do Fundacentro (2008, p. 24), uma abordagem em que a pirâmide foi substituída por um hexágono, que delimitou, em suas fronteiras regulamentares: a segurança dos produtos, as liberdades públicas e privadas, a saúde ocupacional e segurança, a propriedade intelectual, a legislação internacional e legislação ambiental. Assim, em cada uma dessas áreas, existem mecanismos e instrumentos disponíveis para a eficácia regulamentar.

Retornando à base da pirâmide, insta citar um exemplo concreto de autorregulação, no mesmo viés do item dois, descrito anteriormente pelos critérios jurídicos por Berger Filho (2010), no caso, a estrutura/quadro do Nano código responsável da *Environmental Defense-DuPont* (2007).

Chama a atenção o desenvolvimento, pela própria empresa, de uma estrutura de defesa ambiental, em que ocorre um processo específico responsável, sobre a produção, o uso e o descarte de materiais em nanoescala, utilizando-se de um processo sistemático de identificação, gestão e redução dos potenciais riscos ambientais, em todas as fases do ciclo de vida.

Entre vários pontos, destaca-se ainda o compromisso com a gestão de produtos, com um processo interno de gestão de nanomateriais, constituída por uma equipe de política de núcleo, uma equipe de saúde ambiental e segurança de consultoria, além de um processo de gestão obrigatória para todos os produtos que contêm nanomateriais novos.

O Relatório do Fundacentro (2008, p. 27) ainda contém a afirmação de que, além do exemplo acima citado, o Conselho de Química Americano (ACC) também é um exemplo de autorregulação, pois contém um código de conduta (*Responsible Care*) muito cuidadoso, além de ser um *molde* para a indústria de nanotecnologia.

Por outro lado, a título de contraponto, os códigos de conduta voluntários (autorregulação) sofrem pela falta de participação e transparência, pois estudos de opinião pública demonstram ceticismo da sociedade sobre essa autorregulação, ou seja, a indústria vem passando por uma fase de falta de confiança generalizada, além de que possíveis falhas nesse processo podem danificar ainda mais a aceitação pública das nanotecnologias. (FUNDACENTRO, 2008, p. 28).

Garí vai além ao afirmar:

Das corporações aduz-se que a Responsabilidade Social das Empresas bastaria para auto regular a produção nano. Nada mais longe da realidade sob o desregulamentado neoliberalismo. O argumento não vale para quem está exposto na produção nem para quem o está a consumir. A Organização de Consumidores e Utilizadores da UE foi contundente: "Os códigos de conduta voluntários não são a solução numa área tão controversa e sensível. A falta de ambição por detrás destas medidas é patente". Após a crise financeira dos mercados desregulamentados e donos do mundo não há lugar para nenhuma confiança no bem fazer sem norma nem controle dos interesses privados minoritários quando o que está em jogo são os interesses públicos da maioria social. (GARÍ, 2010).

Um exemplo dessa situação foi descrito por Schulz (2009, p. 62), quando um produto de limpeza para vidros e cerâmicas, denominado "Magic Nano", foi lançado no mercado alemão em 2006. Apenas três dias após o lançamento do produto, suas vendas foram paralisadas, pois cerca de cem consumidores apresentaram sintomas de dificuldade respiratória e dores no peito. Assim, o produto foi recolhido para teste e, algumas semanas depois, o governo alemão anunciou o resultado dos testes: não havia nanopartículas no produto, como anunciado. Assim, além de ter diminuído a confiança em produtos com a sigla "nano", a reputação dessa nova tecnologia sofreu um duro golpe.

Exemplo como esse demonstra a falta de informação a respeito desses novos produtos com tecnologia nano e, mais do que isso, se a autorregulação for escolhida como mecanismo de controle social da nanotecnologia, é imprescindível o aprimoramento dos instrumentos de coleta de informações, além da criação de bancos de dados dos elementos constitutivos dos nanomateriais.

#### **4.4 Criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia**

A última forma de gestão dos riscos, referentes ao ser humano e ao meio ambiente, proposta por Berger Filho (2010), com base em normas de conduta não jurídicas, propõe a criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia, para serem utilizadas na forma de acoplamentos estruturais entre a utilização de nanomateriais e a gestão dos riscos que estão envolvidas.

Já existe uma iniciativa nesse sentido que vem sendo desenvolvida pela *International Organization for Standardization (ISO)* e tem por objeto a normalização no domínio das nanotecnologias, a ISO/TC 229.

De acordo com Paschoalino, Marccone e Jardim (2010), a certificação ISO possui três aspectos fundamentais: a) terminologia e nomenclatura; b) caracterização; c) avaliação de risco sobre saúde, segurança e ambiente.

A ISO/TC 229, de acordo com o Resumo Executivo do ObservatoryNANO da União Europeia, em conjunto com a norma IEC TC 113, determina a linha de atividades em relação às normas de nanotecnologia em âmbito internacional. A maior parte dos grupos de pesquisa nacionais que trabalham para a normalização da nanotecnologia (BSI/NT1 – Reino Unido; SAC/TC 279 – China, ANSI-NSP – Estados Unidos; Stander Desenvolvimento de Organizações – *American Society for Testing and Materials (ASTM)* e Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), tem pesquisado em articulação com as normas técnicas citadas.

Para Paschoalino, Marccone e Jardim, a ISO/TC 229 busca,

[...] como um dos principais desafios uniformizar as definições a cerca do tema nanotecnologia e afins, de modo que as transações comerciais sejam as mais transparentes possíveis. Além disso, pretende estabelecer métodos precisos para a medição das propriedades dos nanomateriais, de modo que seja avaliada a qualidade do processo de produção, bem como estabelecer protocolos de utilização pelo consumidor. (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010).

Atualmente, de acordo com dados do próprio *website* da ISO (2010), participam efetivamente da ISO/TC 229, trinta e cinco países, além de haver nove países participantes. A partir da ISO existente, foram produzidos três documentos. A ISO TR/12885, de 2008, que é um relatório técnico referente à saúde e a práticas de segurança no ambiente de trabalho, relevante para a nanotecnologia. A ISO TS/27687, também de 2008, é uma especificação técnica sobre as terminologias e definições para os nanobjetos (nanopartículas, nanofibre e nanoplate), e a ISO/TS 8004-3, de 2010, que é uma especificação técnica referente ao vocabulário das nanotecnologias.

A partir disso, verifica-se que a busca da ISO/TC 229 concentra-se na uniformização das definições e metodologias que dizem respeito à nanotecnologia, que em última instância prezam pela confiança que os consumidores depositarão

nos produtos que seguirem essas normas, além da proteção ao meio ambiente no quesito que se refere a nanomateriais.

Ocorre que a criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia, com base na organização da *International Organization for Standardization* (ISO), esbarra no seu próprio objetivo, qual seja: estabelecer normas técnicas de padronização internacional, de cunho não coercitivo, ou seja, não há como impor a utilização dessas normas para o setor produtivo, pois aderir essas normas não passa de padronização da metodologia de produção, destinada a aceitação de uma demanda de mercado.

Portanto, se o marco regulatório tiver por fundamento a criação de um sistema internacional de normas técnicas específicas para a nanotecnologia, não poderá ser nos moldes da ISO, mas um sistema que tenha abrangência de toda a sociedade, independentemente de sua forma de imposição.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do tema proposto possibilitou a ampliação do conhecimento a respeito da nanotecnologia, pois, quanto mais se adentrou no tema, maior foi a certeza de que se iniciava algo grandioso e que de modo algum haveria como esgotar o assunto. Ao contrário, novas perspectivas foram visualizadas, e somente o tempo e o afincamento no desenvolvimento desse tema na academia e na própria sociedade permitirão alinhar limites hoje desconhecidos.

De imediato foi constatada a dificuldade de buscar e desenvolver, como observador, a ruptura da visão linear para a entrada do viés sistêmico na discussão da proposta almejada, o que não foi óbice para o desenvolvimento do mesmo, e de indicar as diversas imbricações que a nanotecnologia propicia com os sistemas em seu entorno, uma vez que uma das principais características observadas foi justamente a convergência tecnológica que ampara a nanotecnologia. Essa convergência demonstrou interações totalmente novas, como, por exemplo, a computação quântica, em que haverá componentes orgânicos (biologia) e inorgânicos (engenharia) dentro de um mesmo mecanismo, restando claro que o rompimento de paradigmas tradicionais levará à formação de áreas do conhecimento totalmente novas, bem como à formação de futuros pesquisadores/cientistas, pois a compreensão de somente uma área do conhecimento não bastará para o entendimento das interações esperadas.

Quando se pensa nos impactos da nanotecnologia sobre a sociedade e o meio ambiente, verifica-se que ainda não é possível responder a todos os campos possíveis, pois o potencial tecnológico revolucionará o padrão de sociedade que conhecemos, e haverá mudanças que alcançarão, desde a inovação da produção primária, com técnicas de precisão na produção, através, por exemplo, de nanossensores interconectados, até a ampliação da expectativa de vida, pela implementação da nanomedicina na reprogramação dos genes, como a recuperação de ambientes bióticos e abióticos.

Com a averiguação das relações que dizem respeito às diversas áreas da sociedade com a nanotecnologia, constatou-se a complexidade que envolverá o

conhecimento e, a partir dessas constatações, foram abordadas algumas sugestões de “redução da complexidade”.

Sob o viés do avanço tecnológico, foi possível verificar a escassez do debate público em torno de questões como: gestão dos riscos; consequências ambientais; desinformação sobre as consequências advindas para os trabalhadores do ramo dos nanomateriais no ambiente do trabalho; questões de consumo.

Restou clara a necessidade de adoção de Políticas Públicas no Brasil, referentes à aplicação da tecnologia “nano” em todas as áreas públicas, com destaque para aquelas que envolvem diretamente a saúde humana, tais como: a sanitária, a de alimentos, a do meio ambiente, bem como a incerteza sobre a metodologia necessária para a adequação das características mínimas para a grande quantidade de produtos já disponíveis no mercado para consumo.

No que se refere à busca de critérios de gestão do risco, por meio de normas jurídicas, constatou-se, referentemente à regulamentação, que, apesar de haver em nosso ordenamento jurídico um vasto arcabouço jurídico de leis, normas, decretos, resoluções, todos eles são gerais em relação à nanotecnologia, ou seja, acredita-se que poderiam ser utilizados, por analogia – como exemplo, cita-se a falta de informação em rótulos de produtos que contenham nanoelementos, a qual poderia ser suprida a partir da utilização de legislação consumerista –, por um lapso temporal, até a criação de leis específicas a respeito dessa nova tecnologia. Como exposto inicialmente, o objetivo foi demonstrar e observar a legislação pertinente à discussão em torno da nanotecnologia.

No tocante à (auto)regulação, existe uma enorme interrogação, pois processos como o código de conduta responsável (responsible care) deixaria nas mãos das próprias indústrias as matérias pertinentes ao desenvolvimento da nanotecnologia, cabendo a cada uma a responsabilidade dos produtos lançados; o mercado seria o agente decisivo na manutenção ou não de um produto. Sob outra perspectiva, a auto(regulação) poderia desenvolver critérios de gestão de risco através das “agências reguladoras”, seguindo o modelo norte-americano. Em ambos os casos citados, as interrogações estão justamente em saber se essas realidades e possibilidades se adequariam à realidade brasileira, pois surgiram em realidades sociais totalmente diferentes das nossas.

Outra perspectiva analisada, para determinar critérios de gestão de risco, que não é de cunho jurídico, está calcada na criação de um sistema internacional de

normas técnicas específicas para a nanotecnologia. Em relação a esse sistema, a dificuldade consistiria em torná-la obrigatória no âmbito internacional, pois os modelos de normas técnicas existentes, por exemplo, a *International Organization for Standardization* (ISO), não são obrigatórios, porque somente representam uma padronização que tem por objetivo a aceitação internacional.

Dada essa convergência tecnológica sobre a nanotecnologia, acredita-se que ainda não existe um mecanismo regulador genérico que possa responder aos anseios arguidos na pesquisa. Os riscos que advêm do avanço das pesquisas em nanotecnologia somente tendem a aumentar; por outro lado, há falta de discussão acerca do alcance de suas conseqüências. Por essa razão, cabem imediatamente medidas de prudência fundadas no princípio da precaução, não com o intuito de interromper/barrar o desenvolvimento tecnológico, mas para garantir e preservar os direitos básicos assinalados em nossa Carta Magna, como o respeito à vida e o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

A rigor, é possível aduzir que a humanidade nunca se defrontou com uma mudança que atingirá tantos segmentos sociais e de forma que acarretará mudanças drásticas na compreensão da própria vida. Daí a necessidade de estar com a mente aberta para compreender o que seja amparado pela razão, e estar preparado para ir além, pois a potencialidade da revolução nanotecnológica está em tornar realidade situações inimagináveis.

## REFERÊNCIAS

- ALTMANN, Juergen. Nanotecnologia e a questão militar. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 35-41.
- ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito ambiental**. 11. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2008.
- BAUMAN, Zygmunt. **Vida para o consumo: a transformação das pessoas em mercadorias**. Trad. de Carlos Alberto Medeiros. Rio de Janeiro: J. Zahar, 2008.
- BERGER FILHO, Airton G. **Desafios do Direito diante dos riscos da nanotecnologia**. Artigo não publicado. 2010.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Distrito Federal: Brasília, 1988.
- \_\_\_\_\_. **Consolidação das Leis do Trabalho**. Decreto-Lei 5.452 de 1º de maio de 1943. Rio de Janeiro: 1943.
- \_\_\_\_\_. **Lei 6.437** de 20 de agosto de 1977. Distrito Federal: Brasília, 1977.
- \_\_\_\_\_. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Distrito Federal: Brasília, 1981.
- \_\_\_\_\_. **Lei da Ação Civil Pública**. Lei 7.347 de 24 de julho de 1985. Distrito Federal: Brasília, 1985.
- \_\_\_\_\_. **Lei dos Agrotóxicos**. Lei 7.802 de 11 de julho de 1989. Distrito Federal: Brasília, 1989.
- \_\_\_\_\_. **Código de Defesa do Consumidor**. Lei 8.078 de 11 de setembro de 1990. Distrito Federal: Brasília, 1990.
- \_\_\_\_\_. **Lei 9.478** de 6 de agosto de 1997. Distrito Federal: Brasília, 1997.
- \_\_\_\_\_. **Lei 9.472** de 16 de julho de 1997. Distrito Federal: Brasília, 1997.
- \_\_\_\_\_. **Lei dos Crimes Ambientais**. Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Distrito Federal, 1998.
- \_\_\_\_\_. **Sistema Nacional de Vigilância Sanitária**. Lei 9.782/99. Distrito Federal: Brasília, 1999.
- \_\_\_\_\_. **Lei 9.961** de 28 de janeiro de 2000. Distrito Federal: Brasília, 2000.
- \_\_\_\_\_. **Lei 11.105** de 24 de março de 2005. Distrito Federal: Brasília, 2005.
- \_\_\_\_\_. **Decreto 1.355** de 30 de dezembro de 1994. Distrito Federal: Brasília, 1994.
- \_\_\_\_\_. **Decreto 4.680** de 24 de abril de 2003. Distrito Federal: Brasília, 2003.
- \_\_\_\_\_. **Instrução Normativa Interministerial 1º** de abril de 2004. Distrito Federal: Brasília, 2004.
- \_\_\_\_\_. **Projeto de lei 131/2010**. Distrito Federal: Brasília, 2010.



BRUNA, Sérgio Varella. **Agências reguladoras**: poder normativo, consulta pública, revisão judicial. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2003.

BORDIEU, Pierre. **O poder simbólico**. Trad. de Fernando Tomaz. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2007.

CASCAIS, Fernando. **As notas de madame**: incerteza, risco, precaução. 2007. Disponível em <<http://www.cecl.com.pt/workingpapers/content/view/15/38/>>. Acesso em: 26 maio 2010.

CÉZAR, Frederico Gonçalves; ABRANTES, Paulo César Coelho. Considerações epistemológicas sobre o princípio da precaução e sua relação como processo de análise de risco. Brasília. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 2, maio-ago. 2003.

COSBEY, Aaron. **A forced evolution? The codex alimentarius commission, scientific uncertainty and the precautionary principle. Research paper, international institute for sustainable development, winnipeg**, Canadá. Disponível em: <[http://www.iisd.org/pdf/forced\\_evolution\\_codex.pdf](http://www.iisd.org/pdf/forced_evolution_codex.pdf)>. Acesso em: 27 maio 2010.

DAVIES, J. Clarence. **Nanoleçons for revamping government oversight of technology**. 2009. Disponível em: <<http://www.issues.org/26.1/davies.html>>. Acesso em 10 abr. 2010.

DE GIORGI, Raffaele. **Direito, tempo e memória**. Trad. de Guilherme Leite Gonçalves. São Paulo: Quartier Latin, 2006.

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. 500 Anos de direito administrativo brasileiro. **Revista Brasileira de Direito Administrativo – RBDA**. Belo Horizonte: fórum ano 1, n.1, abr./jun. 2003. Belo Horizonte: Forum, 2003. p. 181 – 210.

DURÁN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar. **Nanotecnologia**: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber, 2006.

DULLEY, Richard Domingues. Nanotecnologia e agricultura: algumas considerações. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 220-231.

DUPONT NANO PARTNERSHIP ENVIRONMENTAL DEFENSE (ED – DuPont). 2007. **Nano Risk Framework. Available**. Disponível em: <[http://www.environmentaldefense.org/documents/6496\\_Nano%20Risk%20Framework.pdf](http://www.environmentaldefense.org/documents/6496_Nano%20Risk%20Framework.pdf)>. Acesso em: 6 jul. 2009.

ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi. **As nanotecnologias e os marcos regulatórios**: desafios éticos e possibilidades legais para a construção de um direito que normatize as pesquisas. 2010. Disponível em: <<http://revistavisaojuridica.uol.com.br/advogados-leis-jurisprudencia/44/artigo162268-3.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); WORLD HEALTH ORGANIZATION (OMS). **The application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: Potential Food Safety Implications**. 2009. Disponível em: <[http://www.fao.org/ag/agn/agns/expert\\_consultations/Nanotech\\_EC\\_Scope\\_and\\_Objectives.pdf](http://www.fao.org/ag/agn/agns/expert_consultations/Nanotech_EC_Scope_and_Objectives.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2010.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA), 2007. **Nanotechnology: a report of the U.S. food and drug administration nanotechnology task force**. Disponível em: <<http://www.fda.gov/nanotechnology/taskforce/report2007.html>>. Acesso em: 2 maio 2009.

FOLADORI, Guillermo; INVERNIZZI, Nolea. **Os trabalhadores da alimentação e da agricultura questionam as nanotecnologias**. 2007. Disponível em: <[http://www.reluaita.org/nanotecnologia/trabajadores\\_cuestionan\\_nano-full-por.htm](http://www.reluaita.org/nanotecnologia/trabajadores_cuestionan_nano-full-por.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2010.

FREITAS, Juarez. O princípio constitucional da precaução e o dever estatal de evitar danos juridicamente injustos. **Revista do tribunal de contas do estado de minas gerais**, Edição 2006\_08\_17\_0001.2xt de 02 – Ano. Disponível em: [www.tce.mg.gov.br/revista](http://www.tce.mg.gov.br/revista). Acesso em: 10 abr. 2010.

FUNDACENTRO. Relatório de Viagem Internacional. Oficina de pesquisa avançada – **Nanomateriais: riscos e benefícios ambientais e produtos de consumo emergentes**. Portugal, 2008. Disponível em: <[www.fundacentro.gov.br/.../relatorio%20viagem\\_Arline%20NATO\\_27%20a%2030%20abril\\_2008%20para%20o%20Portal.doc](http://www.fundacentro.gov.br/.../relatorio%20viagem_Arline%20NATO_27%20a%2030%20abril_2008%20para%20o%20Portal.doc)>. Acesso em: 10 out. 2009.

GARÍ, Manoel. **Nano-amizades perigosas**. 2010. Disponível em: <[http://www.esquerda.net/virus/index.php?option=com\\_content&task=view&id=146&Itemid=26](http://www.esquerda.net/virus/index.php?option=com_content&task=view&id=146&Itemid=26)>. Acesso em: 22 maio 2010.

GRUPO ETC. **Tecnologia atômica: a nova frente das multinacionais**. Trad. de Elisa Schreiner. São Paulo: Expressão Popular, 2004.

\_\_\_\_\_. **Nanotecnologia: os riscos da tecnologia do futuro**. Trad. de José F. Pedrozo e Flávio Borghetti. Porto Alegre: L&PM, 2005.

\_\_\_\_\_. **Medicina nanológica: aplicaciones médicas de la nanotecnología**. 2006. Disponível em: <[http://www.etcgroup.org/es/materiales/publicaciones.html?pub\\_id=598](http://www.etcgroup.org/es/materiales/publicaciones.html?pub_id=598)>. Acesso em: 15 jan. 2009.

HEIDEGGER, Martin. **Ser e tempo**. Trad. de Márcia Sá Cavalcante Schuback. 14. ed. Petrópolis: Vozes; São Paulo: Universidade de São Francisco, 2005.

IIEP. Intercâmbio, informações, estudos e pesquisas. **Princípios para a fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais**. Disponível em: <<http://www.iiep.org.br/nano/fundacentro/principles.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL (INPI). **Alerta Tecnológico**. 11. 02/2010. Pedidos de patentes sobre nanotecnologia. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/noticias/alerta-tecnologico-traca-painel-sobre-patentes-de-nanotecnologia>>. Acesso em: 25 maio 2010.

INTERNATIONAL RISK GOVERNANCE COUNCIL (IRGC), 2005. **White paper on risk governance: towards in integrative approach**. Disponível em: <[http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC\\_white\\_paper\\_2\\_PDF\\_final\\_version-2.pdf](http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_white_paper_2_PDF_final_version-2.pdf)>. Acesso em: 28 dez. 2009.

INTERNATIONAL RISK GOVERNANCE COUNCIL (IRGC), 2007. **Policy brief: nanotechnology risk governance: recommendations for a global, coordinated approach to the governance of potential risks**. Disponível em: <[http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB\\_nanoFINAL2\\_2\\_.pdf](http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB_nanoFINAL2_2_.pdf)>. Acesso em: 28 dez. 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TC 229**. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

JUSNANO. Diretório dos grupos de pesquisa no Brasil. 2010. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=0009601HR3CJT5>>. Acesso em: 10 abr. 2010.

KELSEN, Hans. **Teoria pura do direito**. 6. ed. Trad. de João Batista Machado. São Paulo: M. Fontes, 2003.

LIMA, Edilson Gomes de. **Tratados científicos: a nanotecnologia avançada**. São Paulo: Agbook, 2009.

LOPES JÚNIOR, Edmilson. As ciências sociais e a nanotecnologia: alguns desafios. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 147-154.

LUHMANN, Niklas **Comunicazione Ecologica**. Può La società moderna adattarsi alle minacce ecologiche? Trad. de Raffaella Sutter. 3. ed. Milano: F. Angeli, 1992.

\_\_\_\_\_. **Sistemas sociales: lineamentos para una teoria general**. Trad. de Silvia Pappe y Brunhilde Erker; coord. por Javier Torres Nafarrete. – Rubi (Barcelona): Anthropos; México: Universidad Iberoamericana; Santafé de Bogotá: CEJA, Pontificia Universidad Javeriana, 1998.

\_\_\_\_\_. **El derecho de la sociedad**. Trad. de Javier Torres Nafarrate. México: Universidade Ibero-Americana, 2002.

\_\_\_\_\_. **Sociologia do direito I**. Trad. de Gustavo Bayer. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **Introdução à teoria dos sistemas**. Trad. de Nasser, Ana Cristina Arantes. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006.

\_\_\_\_\_. **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal**. São Paulo: Xamã, 2007.

\_\_\_\_\_. **Nanotecnologia e Meio Ambiente para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/IPT, 2008.

MANIFESTO PÚBLICO. Direito à informação e recursos para identificar riscos das nanotecnologias à saúde dos trabalhadores e ao meio-ambiente. I Simpósio Internacional dos Impactos das nanotecnologias à Saúde dos Trabalhadores e ao Meio Ambiente. 2010. Disponível em:

<[http://www.protecao.com.br/site/content/noticias/noticia\\_detalhe.php?id=AnyAAA](http://www.protecao.com.br/site/content/noticias/noticia_detalhe.php?id=AnyAAA)>. Acesso em: 15 jun. 2010.

MATHIAS SCHULENBURG, Köln. **Nanotecnologias: inovações para o mundo de amanhã**. 2004. Publicado pela Comissão Europeia. Disponível em: <[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano\\_brochure\\_pt.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_pt.pdf)>. Acesso em: 25 jan 2009.

MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco. **A árvore do conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana. Trad. de Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001.

MERKLE, R. **O que é nanotecnologia?** Entrevista concedida a John MacFarlane. Disponível em: <[http://www.universiabrasil.net/nextwave/ver\\_materia.jsp?materia=209&subcanal=1](http://www.universiabrasil.net/nextwave/ver_materia.jsp?materia=209&subcanal=1)> Acesso em: 4 abr. 2010.

MILARÉ, Edis; SETZER, Joana. Aplicação do princípio da precaução em áreas de incerteza científica: Exposição a campos eletromagnéticos gerados por estações de radiobase. **Revista de Direito Ambiental**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 42, 2006.

MOONEY, Pat Roy. Nanotecnologia, desestruturação produtiva e poder: um alerta para os cientistas sociais. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 165-173.

MOREIRA, Eliane Cristina P. Nanotecnologia e regulação: as inter-relações entre o direito e as ciências. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 309-313.

MORIN, Edgar. **O Método 1**: a natureza da natureza. Trad. de Ilana Heineberg. Porto Alegre: Sulina, 2002.

NANOACTOIN. **Princípios para a fiscalização de nanotecnologias e nanomateriais**. 2007. Disponível em: <<http://www.nanoaction.org/nanoaction/doc/nano-02-18-08.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2009.

NEDER, Ricardo de Toledo. Algumas hipóteses teórico-metodológicas sobre protocolos de valor para a pesquisa social com coletivos tecnocientíficos. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 263-279.

NICOLESCU, Basarabi. **Um novo tipo de conhecimento** – transdisciplinaridade. Disponível em: <<http://www.redebrasileiradetransdisciplinaridade.net/mod/resource/view.php?id=18>> Acesso em: 4 jun. 2010.

OST, François. **A natureza à margem da lei**: a ecologia à prova do direito. Trad. de Joana Chaves. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

PAIVA, Rita. **Gaston Bachelard**: a imaginação na ciência, na poética e na sociologia. São Paulo: Annablume, 2007.

PASCHOALINO, Matheus P.; MARCONE, Glauciene P. S.; JARDIM, Wilson F. **Os nanomateriais e a questão ambiental**. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422010000200033&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422010000200033&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 mar. 2010.

POLETTO, Fernanda S.; POHLMANN, Adriana R.; GUTERRES, Sílvia S. Nanotecnologia, uma revolução na saúde. Rio de Janeiro: Ediuoro, **Revista Ciência Hoje, Revista de Divulgação Científica da SBPC**, 255. v. 43. 2008.

POMADA INTELIGENTE. **Revista Vida e Saúde**. São Paulo: Editora CASA, jan./2009.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **O reencantamento do mundo**. In: MORIN et al. **A sociedade em busca de valores**: para fugir à alternativa entre cepticismo e o dogmatismo. Trad. Luís M. Couceiro Feio. Lisboa: Instituto Piaget, 1998, p. 229-238.

QUÉBEC COMMISSION DE L'ÉTHIQUE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE (QC), 2006. **Position statement**: ethics and nanotechnology: a basis for action. Québec G1V 4Z2. Disponível em: <<http://www.ethique.gouv.qc.ca/IMG/pdf/Avis-anglaisfinal-2.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

QUINA, Frank H. **Nanotecnologia e o meio ambiente**: perspectivas e riscos. 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422004000600031](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000600031)>. Acesso em: 19 jan. 2010.

RAMOS, Giam Carlos Delgado. Nanotecnologia e Meio Ambiente. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE. CD-ROM. 2006.

**REGULATING NANOMATERIALS: A TRANSATLANTIC AGENDA**. 2009. Disponível em: <[http://www.chathamhouse.org.uk/files/14688\\_bp0909\\_nanomaterials.pdf](http://www.chathamhouse.org.uk/files/14688_bp0909_nanomaterials.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2010.

**REPORT TO THE PRESIDENT AND CONGRESS ON THE THIRD ASSESSMENT OF THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE**. 2010. Disponível em: <<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nano-report.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2010.

ROCHA, Leonel Severo. **Paradoxos da auto-observação**: percursos da teoria jurídica contemporânea. Curitiba: JM Editora, 1997.

\_\_\_\_\_; PÊPE, Albano Marcos Bastos. **Genealogia da crítica jurídica**: de Bachelard a Foucault. Porto Alegre: Verbo Jurídico, 2007.

\_\_\_\_\_; **Da epistemologia jurídica normativista ao construtivismo sistêmico**. Boletim da Faculdade de Direito. Universidade de Coimbra. 2008.

\_\_\_\_\_; SCHWARTZ, Germano; CLAM, Jean. **Introdução à teoria do sistema autopoiético do direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2005.

\_\_\_\_\_; KING, Michael; SCHWARTZ, Germano. **A verdade sobre a autopsie do direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2009.

ROCHAEL, Carlos Henrique Reis. **As agências de regulação brasileiras**. 2004. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=6822>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

ROYAL SOCIETY AND ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (RS & RAE), 2004. **Nanoscience and nanotechnologies**: opportunities and uncertainties. Science policy section, the royal society, london SW1Y 5AG. Disponível em: <<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>>. Acesso em: 25 jul. 2009.

SILVA, Leticia Borges da. É possível negociar a biodiversidade? Conhecimentos tradicionais, propriedade intelectual e biopirataria. In: BARRAL, Welber de Oliveira; PIMENTEL Luiz Otávio. **Propriedade intelectual e desenvolvimento**. Florianópolis: Fundação BOITEUX, 2006.

SILVA, Marise Borba da. **Nanotecnologia e a condição humana**: a radicalidade técnica contemporânea, os questionamentos éticos do *homo viator* e a visão de natureza. 2008.

279fl. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SIMIONI, Rafael Lazzarotto. **Direito ambiental e sustentabilidade**. Curitiba: Juruá, 2006.

\_\_\_\_\_. **Direito racionalidade comunicativa**. Curitiba: Juruá, 2007.

SOUZA, Ricardo Timm de. Ética e (tecno)ciência: algumas questões fundamentais. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 280-284.

SCHULZ, Peter Alexander Bleinroth. **A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2009.

TEUBNER, Gunther. **Direito, sistema e policontextualidade**. Trad. de Dorothee Susanne Rüdiger e Rodrigo Octávio Broglia Mendes. São Paulo: Unimep, 2005.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TRABALHADORES DA ALIMENTAÇÃO, AGRÍCOLAS, HOTÉIS, RESTAURANTES, TABACOS E AFINS (UITA). **Resolução sobre a Nanotecnologia**. 2006. Disponível em: <[http://www.rel-uita.org/nanotecnologia/trabajadores\\_cuestionan\\_nano-full-por.htm](http://www.rel-uita.org/nanotecnologia/trabajadores_cuestionan_nano-full-por.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2010.

UNIÃO EUROPEIA. Comissão europeia. **Comunicação da comissão relativa ao princípio da precaução**. 2000. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0001:FIN:PT:PDF>>. Acesso em: 26 ago. 2009.

\_\_\_\_\_. Comunicação da comissão ao conselho, ao parlamento europeu e ao comité económico e social europeu sobre **Nanociências e nanotecnologias**: Plano de Acção para a Europa 2005-2009. COM (2005) Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0243:FIN:PT:PDF>>. Acesso em: 4 maio 2009.

\_\_\_\_\_. European activities in the field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology. (2008). Disponível em: <<http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report122.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2010.

\_\_\_\_\_. Comissão Europeia. Relatório sobre os **Aspectos regulamentares dos nanomateriais**. COM (2009). Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A6-2009-0255&language=PT>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

\_\_\_\_\_. Annual report on ethical and societal aspects of nanotechnology. 2010. Disponível em: <<http://www.nanoforum.org/dateien/temp/NanobioethicsApril2010.pdf?30062010223701>>. Acesso em: 21 maio 2010.

\_\_\_\_\_. Comissão Europeia. Projeto de resolução legislativa do Parlamento Europeu sobre a posição comum adoptada pelo Conselho tendo em vista a adopção do regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho relativo a novos alimentos que altera o Regulamento (CE) 1331/2008 e revoga o Regulamento (CE) 258/97 e o Regulamento (CE) 1852/2001 da Comissão. 2010. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2010-0152+0+DOC+XML+V0//PT>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

UNITED NATIONS. Report of the United Nations Conference on Environment and Development: annex 1: **Rio declaration on environment and development**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

VANDERMOLEN, Thomas D. **Nanotecnologia Molecular e Segurança Nacional**. 2005. Disponível em: <<http://www.airpower.au.af.mil/apjinternational/apj-p/2006/3tri06/vandermolen.html>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

VARELLA, Marcelo Dias; SACHS, Jeffrey. **Propriedade intelectual e desenvolvimento**. São Paulo: Lex, 2005.

VICTORIANO, José Manoel Rodríguez. Intersecções entre sociologia e ecologia: a pesquisa como fenômeno social total a partir da perspectiva crítica de Jesús Ibáñez. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 87-109.

VIEGAS, Eduardo Coral. Hidrelétricas: uma visão crítica e sistêmica da produção de energia a partir de barragens. In: FREITAS, Vladimir Passos de (Coord.). **Direito ambiental em evolução**. Curitiba: Juruá, 2007.

VILAS BÔAS FILHO, Orlando. **Teoria dos sistemas e o direito brasileiro**. São Paulo: Saraiva, 2009.

WOOD, Stephen J. Nanotecnologia, inovação e sociedade: a visão das ciências sociais. In: MARTINS, Paulo Roberto (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 155-164.