

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

REFLEXOS DE IMAGENS:
DISCURSOS SOBRE ÉTICA E NANOTECNOLOGIA NAS
LITERATURAS MÉDICA E BIOÉTICA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Saúde junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Autora: Monique Teresinha Pyrrho de Souza Silva

Orientador: Prof. Dr. Volnei Garrafa

Brasília

2009

Ao Gabriele, pelas palavras e silêncios. À MM, por muito mais do que o suporte nas noites de trabalho. À I e à 3, números mais do que primos para mim. À BB, companheira de muitas e, principalmente, das últimas horas desse trabalho. Ao caríssimo orientador Volnei Garrafa por seu inestimável papel durante a realização desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GERAL	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REFERENCIAL TEÓRICO - IMAGENS DE CIÊNCIA: BIOÉTICA, NANOTECNOLOGIA E O DISCURSO SOBRE AS TECNOCIÊNCIAS	6
3.1. REFLEXOS DA CIÊNCIA EM BIOÉTICA	6
3.2. O QUE É A CIÊNCIA: TRÊS IMAGENS	9
3.3. A CIÊNCIA COMO CULTURA E AS CULTURAS CIENTÍFICAS	12
3.4. E AFINAL, O QUE É NANOTECNOLOGIA?	17
3.4.1. A Disciplina Científica: Um breve histórico	17
3.4.2. Tecnociência: Visões e Imagens	21
3.4.2.1. Imagem científica da nanociência e nanotecnologia, conceitos e aplicações	23
3.4.2.2. Imagem filosófica da nanociência e nanotecnologia	33
4. MÉTODOS	44
5. RESULTADOS - ÉTICA E NANOTECNOLOGIA NAS LITERATURAS MÉDICA E BIOÉTICA	48
6. DISCUSSÃO - REFLEXOS DE IMAGENS: IMPLICAÇÕES ÉTICAS AUTÓGENAS E HETERÓGENAS	57
6.1. IMPLICAÇÕES ÉTICAS AUTÓGENAS	80
6.2. IMPLICAÇÕES ÉTICAS HETERÓGENAS	85
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	94
BIBLIOGRAFIA	104
ANEXO I	115

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1- Base de dados e alcance da literatura	45
Quadro 2. Resultados apontados pelas fontes de dados e artigos selecionados como amostra	48
Quadro 3. Área de conhecimento do artigo/ autor	49
Quadro 4. Área de conhecimento do artigo/ autor na literatura bioética	50
Quadro 5. Área de conhecimento do artigo/ autor na literatura médica	50
Quadro 6. Periódicos e artigos publicados	51
Figura 1. Artigos sobre aspectos éticos da nanotecnologia produzidos por ano ..	48
Figura 2. Imagens de ciência que permeiam a reflexão dos artigos	52
Figura 3. Literatura Bioética: Imagens de ciência que permeiam a reflexão dos artigos	52
Figura 4. Literatura Médica: Imagens de ciência que permeiam a reflexão dos artigos	53
Figura 5. Artigos publicados sobre nanotecnologia nas subáreas de ciências da saúde por ano	57
Figura 6. Produção mundial sobre bioética	61
Figura 7. Artigos publicados sobre nanotecnologia por ano	62
Figura 8. Artigos publicados sobre bioética por ano	63

RESUMO

A emergente nanotecnologia já desperta grande comoção em torno de suas potenciais implicações. O objetivo do presente estudo é avaliar a produção bibliográfica existente a respeito das implicações éticas da nanotecnologia. Com este fim, a partir da palavra-chave “ética e nanotecnologia”, foram levantados e analisados artigos científicos, em âmbito nacional, regional e internacional, nas bases de dados específicas sobre Ciências Médicas e sobre Bioética. Foram analisados 101 artigos, 84 deles apontados pelas bases de bioética, 44 apontados pelas bases médicas, destes 27 eram comuns a ambas. A produção sobre ética e nanotecnologia se mostrou pequena diante da produção tecnocientífica internacional sobre nanotecnologia, e ainda menor nos níveis regional e nacional. O tema específico das bases de dados foi um fator secundário para a divergência entre os tipos de discurso sobre as implicações éticas da nanotecnologia. No entanto, as imagens de ciência que os autores tinham sobre nanotecnologia foram determinantes no discurso ético. Os artigos fundamentados em uma *imagem científica* da nanotecnologia, correspondente à descrição pelos cientistas de suas próprias atividades, foram predominantemente escritos por autores da área de bioética. Estes apontavam principalmente *implicações éticas autógenas*, que poderiam ser identificadas e analisadas pela ciência. Esses autores apresentaram a análise de risco como a principal abordagem ética. Os artigos fundamentados em uma *imagem filosófica* da nanotecnologia, que descreve a ciência a partir de contextos sociais mais amplos, foram predominantemente escritos por filósofos e cientistas sociais. Estes artigos apontavam principalmente *implicações éticas heterógenas* que, embora surjam como consequência da prática tecnocientífica em questão, não são propriamente objetos de estudo dela, demandando, portanto, análises que considerem os discursos bem como os interesses a eles subjacentes.

Palavras-chave: nanotecnologia; bioética; ética da ciência; imagens de ciência; implicações éticas autógenas; implicações éticas heterógenas; nanoética.

ABSTRACT

The potential implications of the emerging field of nanotechnology has already caused commotion. The aim of this study was to evaluate the literature on ethical implications of nanotechnology. For this purpose, national, regional and international scientific articles were collected and analyzed from specific databases on Medical Sciences and Bioethics using the keywords "ethics and nanotechnology". One hundred one (101) articles were analyzed, which included 84 cases from bioethics databases, 44 from medical databases, and 27 common to both databases. The literature on ethics and nanotechnology was scarce considering the international techno-scientific production on nanotechnology, and even more scarce when considering regional and national levels. The specific themes of the databases were the second major reason for divergence between the types of discourse on the ethical implications of nanotechnology. The authors' images of science on nanotechnology were the main factor in the formulation of ethical discourse. Articles based on a *scientific image* of nanotechnology, which corresponds to a description by the scientists of their own activities, were predominantly written by authors in the bioethics field. These authors have pointed mainly *autogenous ethical implications*, which could be identified and analyzed by science. The authors considered the risk analysis as the main ethical approach. Articles based on a *philosophical image* of nanotechnology, which describes the science starting from broader social contexts, were mainly written by philosophers and social scientists. These articles indicated *heterogenous ethical implications* that are not hard science subjects, but arise as a consequence of scientific practice. That approach thus requires analysis of the discourses and the interests underlying them.

Keywords: nanotechnology; bioethics; ethics of science; images of science; autogenous ethical implications; heterogenous ethical implications; nanoethics.

1. INTRODUÇÃO

A nanociência, tão recente historicamente, recebe rótulos com a mesma velocidade de sua produção científica. A literatura sobre o tema, desde artigos especializados à ficção científica, lhe atribui uma natureza revolucionária, disruptiva, desestruturante, inovadora. É no seu caráter fundamentalmente inovador, justamente, que se encontra um dos poucos consensos sobre a nanotecnologia.

No estudo de suas possíveis implicações éticas, a tarefa de começar pelo início, de introduzir o tema a partir do conceito do próprio objeto de estudo, impõe o primeiro e fundamental obstáculo para quem se propõe refletir sobre a abordagem ética das chamadas nanociências e nanotecnologias.

Esse desafio inicial, que delineará o plano sobre o qual será desenvolvida a presente Dissertação, decorre das diferenças encontradas entre o que cada um dos grupos que incorporou nanotecnologia em seus léxicos pretende abordar quando utiliza o termo.

No campo da saúde, a nanotecnologia mostra uma de suas faces mais promissoras, renunciando revolucionários avanços científicos e tecnológicos que poderão impactar profundamente a forma com que nos relacionaremos com a saúde e a medicina num futuro próximo. Assim, a recentíssima nanomedicina é concebida pela expectativa de aplicações de dispositivos e materiais nanoestruturados em nível molecular para o monitoramento, reparo, construção e controle dos sistemas biológicos humanos (Sahoo et al., 2007). As possibilidades são inúmeras: liberação direcionada de agentes terapêuticos, produção de princípios ativos, imaginologia, diagnósticos laboratoriais, produção de biomateriais e implantes, etc (Wagner et al., 2006).

Se as grandes promessas não parecem inéditas, a corrida entre os laboratórios e o vultoso investimento em pesquisa só incrementam as semelhanças com os últimos grandes avanços biotecnológicos.

A revolução nanotecnológica, atual expoente de um tipo de produção científica inovadora, designa tanto características econômicas disruptivas, que impactam profundamente todo o sistema de produção, quanto a ruptura evidenciada por verdadeiras convulsões epistemológicas, sociais e antropológicas (Sibilia, 2002).

É a partir da perspectiva de revolução tecnocientífica que a nanotecnologia será abordada. É no caráter revolucionário da nanotecnologia e no que ela diverge dos anteriores avanços científicos que se concentram as atenções do presente estudo.

Diante das promissoras conquistas científicas e de seus impactos, os diferentes atores não tardam a tomar seus postos para o debate sobre nanotecnologia e sociedade. Prontamente, mídia, cientistas, agentes políticos e setores da sociedade passam a expor suas posições. Com a desculpa que o progresso da ciência pede urgência nas decisões, instala-se um cenário de posições predominantemente precipitadas e comumente extremas.

Mas esta inquietação não é exclusividade da nanotecnologia:

Quando (...) a imprensa publica novidades sobre a prática médica, sobretudo em campos que a grande massa da população ainda não domina, como as clonagens, um misto de terror e curiosidade atravessa muitas almas. Os defensores do progresso saúdam cada feito dos laboratórios e exigem que sejam respeitados os métodos e propostas dos sábios. Os religiosos, prudentes procuram entender o que, nas experiências, pode ser assumido e o que deve sofrer recusas. Fundamentalistas vetam pesquisas e utilizam todos os meios, das leis à pressão direta, para controlar a manipulação dos seres vivos, mesmo que ela se faça em prol da cura de pessoas adoecidas. Há, nos porões da consciência moderna, uma fantasmagoria gerada na luta dos séculos contra as práticas científicas. E semelhante história vem pelo menos do Renascimento aos nossos tempos (Romano, 2003, p.10).

Contudo, em vez de defender o uso incondicional da nanotecnologia ou de se opor a ele, em vez de interrompê-lo definitivamente ou apenas esperar o que impreterivelmente irá acontecer, o vulto da inovação pede uma proporcional reflexão. Neste estágio inicial, portanto, é oportuno propor uma discussão anterior e mais ampla do que a tentativa de adivinhar os imprevisíveis efeitos benéficos ou riscos.

As ciências emergentes, quer constituam inovações disruptivas – revoluções tecnocientíficas – quer sejam inovações somente incrementais, representam fundamentalmente a vanguarda da ciência. O encontro com o inovador freqüentemente provoca estresse nas rotinas morais estabelecidas, trazendo desconforto e desajuste entre os costumes e a realidade que se impõe, o que demanda discussão e deliberação. Lidar com o novo traz sempre, em alguma medida, a necessidade de se aventurar em largos espaços vazios, em extensões do desconhecido que dificilmente podem ser previstas (Swierstra & Rip, 2007).

Ademais, as tentativas de responder à pergunta “o que é nanotecnologia?” não costumam ser precisas e, tampouco, unânimes. As controvérsias estão presentes desde sua conceituação, passando pela delimitação do objeto de estudo da chamada nanociência, por seus efeitos, até chegar ao questionamento mais radical a respeito de sua viabilidade. Um dos poucos consensos entre os cientistas é que a manipulação da matéria em seu nível atômico pode revelar novas propriedades. Se a tarefa de delimitar o objeto da discussão já é árdua, pontuar riscos que não podem ser plenamente previstos e avaliados sugere decididamente outras estratégias.

Neste ponto, entre as posições extremistas, surgem aqueles que propõem uma posição que se acredita intermediária, de precaução. Recomendar o princípio da precaução implica esperar a ciência atingir um nível de conhecimento sobre os fenômenos e propriedades relacionados à nanoescala que possibilite o cálculo dos riscos e benefícios envolvidos.

Reduzir a abordagem ética da nanotecnologia ao princípio da precaução implica não somente desconsiderar as características de incerteza e imprevisibilidade, fundamentais à manipulação da matéria em nanoescala, mas também subestimar o potencial dos avanços nanotecnológicos na determinação de posições estratégicas na economia e política mundiais.

Assim, em vez de oferecer os conceitos e discutir os possíveis riscos, intrinsecamente incertos, relacionados ao uso dos produtos da nanotecnologia, resta um caminho mais longo e menos consumado. Cabe, primeiramente, percorrer algumas referências importantes sobre este fenômeno científico, conjugar falas aos seus interesses, identificar as inovações em relação aos avanços biotecnocientíficos anteriores e determinar em que grau elas demandam debates éticos específicos.

Na esteira destas problemáticas, aqui apontadas de forma meramente introdutória, a presente dissertação desenvolver-se-á ao longo de três principais partes abordando: as *Imagens de Ciência – Bioética, nanotecnologia e os discursos sobre as biotecnociências*, uma apresentação do referencial teórico que fundamenta a dissertação; *Ética e Nanotecnologia na literatura médica e bioética*, uma descrição da produção atual sobre ética e nanotecnologia a partir dos resultados do presente estudo; finalmente, *Reflexos de Imagens – Implicações éticas autógenas e heterógenas*, a discussão dos resultados da pesquisa pautados nos referenciais teóricos estabelecidos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar, sob a ótica da bioética, o estado atual da produção científica sobre ética e nanotecnologia.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Descrever as abordagens éticas das implicações da nanotecnologia encontradas na atual produção científica sobre o tema.

Discutir as repercussões éticas da nanotecnologia enquanto discurso e da nanotecnologia enquanto novo paradigma científico por meio dos referenciais teóricos oferecidos por Olivé e Kuhn.

3. REFERENCIAL TEÓRICO – IMAGENS DE CIÊNCIA: BIOÉTICA, NANOTECNOLOGIA E O DISCURSO SOBRE AS TECNOCIÊNCIAS

3.1. REFLEXOS DA CIÊNCIA EM BIOÉTICA

A análise bioética das situações emergentes, como a nanotecnologia e seu potencial transformador, dedica-se ao efeito dos novos dispositivos tecnológicos na vida humana. Neste intuito, ao ultrapassar as barreiras disciplinares e acadêmicas, se obtém uma abordagem pluralista que entende os fenômenos científicos enquanto práticas sociais (Garrafa, 2006a).

A bioética, como ramo da ética aplicada, tenta de algum modo aplicar os princípios descobertos no seu nível fundamentador às distintas dimensões do cotidiano (Cortina, 1993). Considerando o contexto de uma época em que o progresso tecnocientífico toma contornos cada vez maiores na vida habitual e como força produtiva, a bioética afirma e tem como objeto a relação entre a ciência e seu aspecto moral (Vázquez, 2006).

Apesar de o sujeito do comportamento moral ser o indivíduo concreto, seu comportamento não tem caráter puramente individual. De maneira semelhante, as práticas científicas em seu aspecto moral correspondem a necessidades da vida social (Vázquez, 2006).

Desta forma, a ética como estudo dos costumes e da cultura compartilhada durante uma época em uma dada sociedade é, em si, uma oposição ao cientificismo e sua pretensão de reduzir a verdade aos enunciados experimentalmente comprovados pela ciência. Ao se propor investigar aspectos morais da ciência que respondem a conjunturas sociais, delinea-se uma ética não de imperativos, mas de interpretação dos discursos. Busca-se fazer emergir da linguagem a estrutura que articula a experiência de mundo, o substrato dos valores compartilhados por uma comunidade histórica em sua linguagem específica e,

conseqüentemente, nas diversas esferas de interesse e da racionalidade autônoma (Vattimo, 1991).

No dizer de Kottow (2006, p. 39):

No desenvolvimento da Bioética estabeleceu-se que não existem postulados absolutos, sendo a missão de uma bioética racional e secular a adoção de modos argumentativos abertos à pluralidade, à tolerância e ao intercâmbio comunicativo. Obter enunciados que possam ser objetos de uma análise cognitiva requer o exercício de equilíbrios reflexivos desenvolvidos em um clima de significações, linguagem e modos de raciocinar comuns, em que a rigidez de máximas e princípios de validade pretensamente geral não fazem senão prejudicar e descuidar o reconhecimento do outro diferente.

Neste sentido, Sotolongo (2006) afirma que a bioética decorre de uma nova epistemologia, ou epistemologia de segunda ordem. Desde sua idéia original, corresponde a um tipo de pensamento científico novo, que incorpora valores ao conhecimento científico e articula o saber científico de mais diversas áreas com a moral humana. Num esforço de sempre contextualizar as próprias indagações, busca transcender dicotomias entre o sujeito e o objeto, o saber e a vida cotidiana, entre as culturas científica e humanística. Assim, o estudo de práticas morais e sociais leva em conta a reflexividade entre o contexto concreto e aquele que o avalia: espelhos éticos em que a ciência é enxergada e se enxerga ao mesmo tempo.

O avanço científico observado nos últimos séculos aumentou o conhecimento sobre o mundo e a capacidade de prever e manipular fenômenos. Sendo a linguagem o próprio substrato da racionalidade, o discurso científico, a mais sucedida expressão do exercício epistêmico de conhecer e experimentar o mundo, acaba por tornar-se a feição da própria racionalidade (Olivé, 2000).

Contudo, com o progresso de conhecimento não somente a quantidade de dados aumentou, também a racionalidade científica tornou-se um objeto de estudo mais explorado. Esta demonstrou ser mais ampla que um sistema de princípios que satisfazem a um modelo

abstrato ou a condições imutáveis de racionalidade. O referencial que dita o que é ou não racional é a própria ciência. Isto elucida a existência de vários caminhos igualmente legítimos, do ponto de vista epistemológico, para conhecer o mundo. Deste modo, a racionalidade científica não está dada *a priori*, mas parte de consensos, que por sua vez foram obtidos racionalmente pelo argumento científico das controvérsias (Olivé, 2000).

Ao entender que as práticas e a própria racionalidade estão dadas no discurso, o estudo das implicações e a análise ética da nanotecnologia passam certamente pela resposta à pergunta “o que é nanotecnologia?” e seus subjacentes contextos.

Olivé (2000), dedicando-se ao estudo de algumas das facetas da racionalidade humana, que segundo ele encontra sua máxima expressão na ciência, aponta razões metodológicas e epistemológicas para confiar na ciência, mas não cegamente. Essa restrição é derivada da observação do grande empenho e gasto social que atualmente se dão para sustentar, desenvolver e ensinar ciência e tecnologia. O aspecto moral não demora a se anunciar em perguntas como: a que interesses ambas respondem? Em detrimento de quê este investimento se dá? Como se dá o ensino e quem são os responsáveis pelo conteúdo das informações?

É justamente no intento de avaliar a ciência que se encontra a aparente controvérsia que vai guiar as discussões sobre a ética da ciência. À pergunta “o que é a ciência?” são oferecidas respostas já imbuídas de seu contexto. A forma diversa de interpretar esta pergunta dá origem a pelo menos duas imagens distintas da ciência (Olivé, 2000).

Um ponto de partida é aquele que responde a essa pergunta a partir dos conteúdos, objetos de estudo e métodos, seus postulados e suas idéias fundamentais. No entanto, a mesma pergunta pode não ser entendida exclusivamente a partir da perspectiva científica. Pode-se interpretá-la como uma busca de informações a respeito de como se estabelecem os métodos e a organização social da ciência, da natureza da ciência e das práticas científicas e seus impactos sociais. Esta última imagem certamente diverge daquela que os cientistas possuem

de suas próprias atividades e de seus resultados e, provavelmente, também daquela que mais amplamente tem a sociedade (Olivé, 2000).

3.2. O QUE É A CIÊNCIA: TRÊS IMAGENS

Olivé (2000), cuja produção teórica transita entre a filosofia da ciência e a Bioética, aborda a ética na prática científica a partir das diversas imagens que a ciência possui. Em *El bien, el mal y la razón: facetas de la ciencia y de la tecnología*, ao afirmar que a pergunta “o que é a ciência?” não é uma pergunta para ser respondida exclusivamente pelos cientistas, o autor não anuncia que estes não tenham contribuição alguma a dar, ou que não importem as descrições dos procedimentos e conteúdos. Propõe, ao contrário, que há outras respostas que traduzem o que fazem, como fazem e quais são os resultados que obtêm os cientistas a partir daquilo que condiciona suas ações.

Responder a tal pergunta por meio de uma definição pressupõe a capacidade de estabelecer condições necessárias e suficientes que devam ser satisfeitas para a qualificação como ciência, ou seja, condições que esgotem a busca por delimitações. Se o intento parece impossível, a definição não poderia senão implicar no risco de se incluir ou excluir demais, ou terminar por exceções. Este é um problema já enfrentado por todo aquele que tentou definir o que é científico e o que não é (Olivé, 2000).

No entanto, pode-se partir da idéia de que a ciência e a nanotecnologia existem dentro de condições sociais e materiais que permitiram seu surgimento e desenvolvimento. Constituem, portanto, um complexo de atividades, crenças, saberes, valores e normas, costumes e instituições. Consistem em tudo o mais que possibilite o alcance de resultados que são explicados pelas teorias, modelos e outras formas de representação de conhecimentos científicos que permitem a interação e a transformação do mundo (Olivé, 2000).

Assim como objetos ou representações de conhecimentos diversos são estudados por disciplinas diversas, o contexto de que se toma a pergunta também determina o tipo de imagem que se tem da ciência (Olivé, 2000).

Portanto, a pergunta “o que é ciência?” recebe ao menos dois tipos de resposta. A primeira delas parte da própria ciência e corresponde à *imagem científica* da ciência. Esta corresponde à imagem que os cientistas têm de suas próprias atividades e práticas, de suas instituições e dos fins que buscam, dos meios, métodos e materiais que usam para obtê-los, bem como de seus resultados (Olivé, 2000).

No entanto, uma abordagem diversa é a que parte de fora da ciência. A *imagem filosófica* ou *metacientífica* levanta outras questões que a ciência mesma não pode ou não tem por objetivo responder. Disciplinas como história, filosofia e sociologia da ciência dedicam-se ao estudo das condições necessárias para que um conhecimento seja genuinamente científico, da forma como se desenvolve a ciência, dos fins da investigação científica, da maneira como a ciência se organizou socialmente. Estas disciplinas proporcionam elementos fundamentais para a compreensão dos contextos e das conseqüências da ciência e da tecnologia, podendo oferecer contribuições para orientações morais (Olivé, 2000).

As duas imagens anteriores são imprescindíveis para entender as várias facetas da ciência, no entanto há ainda uma terceira imagem, a *imagem pública* da ciência e da tecnologia. Esta, que possui um importante papel na cultura atual, é em grande parte resultado dos meios de comunicação em massa e de comunicação científica. Compõe-se da gama de conhecimentos científicos da parcela da sociedade que não é especializada em ciências. Envolve idéias sobre o que é a ciência, qual sua importância, porque confiar e porque investir socialmente nela (Olivé, 2000).

Não parece haver motivos para que as três imagens sejam idênticas, porém há situações em que convém que elas dialoguem entre si. Para que a informação que chega ao

público seja adequada ao controle e à participação pública nos processos democráticos de tomadas de decisão, tanto a imagem *científica*, com a descrição adequada de seus procedimentos, quanto a imagem *filosófica*, com os estudos da racionalidade científica e sua confiabilidade, são igualmente importantes (Olivé, 2000).

Os processos de tomada de decisão são momentos cruciais do ponto de vista moral. Neste sentido, a dimensão ética se manifesta naquilo que motiva as decisões, nos fins que se desejam alcançar. No entanto, entender que esta é toda a moralidade no processo científico é sofrer da mesma parcialidade que sustenta a teoria da neutralidade da ciência. Segundo esta, a ciência busca o conhecimento dos fatos e a tecnologia proporciona meios para o alcance dos objetivos. Assim, as implicações derivariam todas de quem estabeleceu tais objetivos (Olivé, 2000).

Ao conceber, porém, que a ciência não se resume a proposições e teorias, que a tecnologia é mais do que o conjunto de artefatos e técnicas, percebe-se necessariamente que ambas não se efetivam em si. A ciência e a tecnologia podem ser entendidas como *sistemas de ações intencionais* em que seus agentes buscam fins, mas em função de determinados interesses, a partir de crenças, conhecimentos, valores e normas que pertencem também ao sistema e são passíveis de avaliação moral (Olivé, 2000).

Portanto, a avaliação ética dos sistemas tecnocientíficos relaciona-se aos seus resultados, o que torna importante a descrição dessa dimensão por parte dos cientistas, ou seja, a imagem *científica*. No entanto, devem ser também incluídas as demais dimensões do sistema na avaliação. São os interesses, valores e normas, que permeiam o exercício científico, o objeto da *imagem filosófica*, e proporcionam problemas éticos diversos dos iniciais propostos pela aplicação e resultados puramente científicos (Olivé, 2000).

3.3. A CIÊNCIA COMO CULTURA E AS CULTURAS CIENTÍFICAS

A importância que os saberes científicos e a tecnologia têm na cultura ocidental contemporânea e a forma como afetam o meio ambiente e a sociedade também passam pela concepção que se tem da ciência.

O modelo de racionalidade científica moderna nasce da revolução científica no fim do século XVI e se desenvolve ao longo do século XVIII nas ciências naturais. Essa forma de experimentar o mundo torna-se comum às ciências sociais somente no século XIX, quando alcança um status global e hegemônico de racionalidade científica. Então, demarca seus limites se afirmando como o único conhecimento racional em distinção do senso comum e dos estudos humanísticos (Santos, 1988).

Este modelo é fortemente influenciado pela matemática que oferece desde sempre à ciência moderna não somente seu apego à quantificação, mas a possibilidade de um conhecimento rigoroso dos fatos a partir da análise. Conseqüentemente, se estabelece que os eventos não quantificáveis são cientificamente irrelevantes, e que a tarefa da ciência é oferecer uma série de parcelas não complexas do mundo para a melhor compreensão dos objetos. Ambos os postulados têm o intuito de esclarecer as leis da natureza, observáveis, regulares e rigorosas que expliquem como funcionam as coisas. A causa torna-se fundamental, em detrimento do fim e da intenção, rompendo assim com o senso comum. A ciência alcança, portanto, as estimadas previsibilidade e reprodutibilidade de causas e resultados que se repetem ao longo do tempo e do espaço (Santos, 1988).

O modelo mecanicista, assentado nestes pressupostos, estende suas engrenagens não somente para a natureza cósmica, mas para o funcionamento dos organismos biológicos e mais tarde para as sociedades como um todo. No entanto, a adaptação da racionalidade científica não se dá sem dificuldades para as ciências sociais, as observações não conseguem

o grau de objetividade suficiente. A subjetividade e a falta de consensos gerais implicam no atraso das ciências sociais em relação ao arquétipo das ciências naturais. Mesmo ao tentar reivindicar um estatuto próprio, as ciências sociais não fogem ao modelo de racionalidade científica ao estabelecer distinções entre o homem e a natureza, o homem e o animal, a cultura e a natureza (Santos, 1988).

É neste caráter único do homem e na prioridade cognitiva das ciências naturais que se assenta a ciência moderna e também sua crise (Santos, 1988).

Exilando o divino das alegorias explicativas, a medicina toma por tarefa não somente experimentar, mas justificar o normal e, portanto, afastar aquilo ou aquele que não se ajusta à norma. Neste movimento de secularização da cultura, encontramos as raízes da ética em pesquisa moderna, em todos seus problemas e soluções. No processo de laicização da sociedade, identifica-se uma grande intensificação da racionalidade em resposta aos opositores de suas representações culturais. No entanto, “tudo se passa, nesses momentos privilegiados da história moderna, como se a racionalidade precisasse ser percebida num pano de fundo em que é abalada a própria idéia de razão”. Isto provoca, assim como nos dias atuais, um movimento de censura da razão a si mesma, instalando definitivamente a monstruosidade na moralidade da ciência. A mesma monstruosidade presta-se tanto à crítica à experimentação desenfreada no século XX, quanto na motivação da intolerância religiosa, étnica e religiosa dos tempos modernos. A ciência torna-se indissociável do fascínio e do medo (Romano, 2003).

O mecanicismo, que teve seu auge com o advento da Sociedade Industrial, implementou novas formas de poder. O conhecimento adquirido pelas ciências naturais e sociais passou a configurar novas estratégias de poder, muito mais eficazes do que a escravidão. Os corpos, a saúde e as personalidades são moldados na sociedade industrial. A formação social dispunha de dispositivos de poder que normalizava os corpos para a produção

fábrica. A atuação do poder sobre os corpos era exercida em dois níveis: a combinação de técnicas que treinam os corpos a partir do poder disciplinar com aquelas que buscam no corpo as leis e regularidades características da espécie. Este cenário prepara um novo princípio da anatomia política, que substitui as relações de soberania pelas relações disciplinares (Maia, 2003).

Neste momento do breve relato da história da tecnociência, é demarcada a característica principal da sociedade industrial: se antes o poder estava nas mãos de quem possuía a faculdade de determinar a morte do outro, a revolução industrial e sua avidez pela mão-de-obra tiram da morte o mérito da demonstração do poder. O poder está em manter a vida, em combater e vencer a morte. As implicações são marcantes. A biologia adquire status e substitui culturalmente a física e a matemática (Sibilia, 2002).

Na era da técnica, da máquina e do relógio, da intervenção e da usinagem, o homem-máquina é mais do que uma analogia. O comportamento e muitas outras características subjetivas emergem ao nível da pele, exteriorizam-se a ponto de serem mensuráveis nos corpos. A anatomia e a fisiologia explicam e prevêm o que antes eram mistérios divinos. O homem torna-se suas medidas.

A vida, como signo do poder, é mantida a todo custo e a morte passa a ser medicalizada e afastada socialmente, temida não pelo desconhecido, mas pelo símbolo de fracasso. Aos poucos a metáfora da máquina parte definitivamente o homem em mais de mil pedaços. A medicina toma seus contornos atuais. A análise busca o estudo do detalhe, das menores partes. Os corpos já profanados pelos estudos anatômicos perdem continuamente sua intimidade, ganham sempre análises mais profundas, explicações mais internas. Aos poucos, os contornos já não bastam para explicar o caráter. A personalidade não se mede pelo desenho do crânio, mergulha-se no cérebro. A metáfora da bomba cardíaca, tão mecânica em

sua fisiologia, é substituída por mecanismos mais finos após as primeiras lobotomias (Sibilia, 2002).

No entanto, o mergulhar na matéria e no homem com a descoberta de mecanismos cada vez mais complexos em dimensões cada vez menores não demonstra apenas a potência da ciência como modelo de explicação do mundo, o coloca também em crise.

É o aprofundamento e a vasta quantidade de conhecimento que acabam por resultar nas insuficiências estruturais do paradigma científico moderno. O sociólogo Boaventura de Sousa Santos atribui aos estudos astrofísicos de Einstein a primeira grande falha estrutural no paradigma científico atual. Segundo ele, Einstein ao postular que a simultaneidade de eventos distantes só pode ser medida por meio de um sistema de referências que é arbitrário, afirma conseqüentemente que não há simultaneidade universal. O que é simultâneo em um sistema não o é, necessariamente, a partir de outras referências. Assim, sem a simultaneidade universal, referenciais tão caros como o tempo e o espaço são profundamente abalados. O tempo e o espaço absolutos de Newton não existem mais (Santos, 1988).

A constatação anterior, de que as medições têm caráter local, inspira o segundo aspecto desestruturante. No campo da microfísica, a mecânica quântica rompe a distinção entre o sujeito, que observa, e o objeto, fundamental aos princípios metodológicos até aqui. Tudo o que se conhece é a intervenção sobre o real, artefato de preparação. Os conhecimentos e as leis que explicam os fenômenos não podem ser mais do que probabilísticos (Santos, 1988).

Ainda sobre a crise do paradigma newtoniano, o terceiro aspecto abala justamente aquilo que comprova os dados, que verifica sua rigorosidade, a própria matemática. Princípios fundantes como 'a soma das partes faz o todo' e o próprio princípio do sistema lógico não contraditório são postulados enquanto proposições "indecidíveis", que não se podem demonstrar ou refutar. Referindo-se à contribuição de Gödel, Santos (1988) conclui que o

rigor matemático, que evidenciaria o rigor dos postulados científicos, carece ele mesmo de fundamento.

A quarta condição teórica para a crise é apontada por um movimento científico que inclui diversas teorias da física, química e biologia, que se assenta principalmente na noção de que a organização da matéria e a motivação dos fenômenos nunca se dão de forma completamente previsível. A desordem, o acidente, a interação de fatores e a imprevisibilidade passam a ser fundamentais para explicar os fenômenos. Este movimento científico traz contribuições muito importantes em direção à transdisciplinaridade e para reflexões mais frequentes sobre questões epistemológicas das disciplinas (Santos, 1988).

Estas quatro condições confluem para um questionamento profundo da prática científica, sobre a causalidade enquanto fundamento. Esta crise demonstra seu auge ao mesmo tempo em que projeta o paradigma emergente. Os limites do objeto esmaecem, mas também os do próprio homem. Não somente o conhecimento científico é questionado em seu rigor, os valores humanos são também examinados. Ao mesmo tempo em que já são indistintos o observador e o objeto, a ciência e a tecnologia existem somente em continuidade: a ciência perde seus ares de neutralidade à medida que segue seu processo de industrialização (Santos, 1988).

Não somente por incorporar disputas entre as visões preponderantes da vida, entre o social e o natural, entre a cultura e a natureza, resta a impressão de que a ciência nunca foi parte mais fundamental da cultura do que atualmente. Apesar das divergências entre as culturas científicas, a ciência é fundamentalmente a forma mais disseminada de conhecer e experimentar o mundo que se conhece. Este fato repercute fundamentalmente não somente na forma como o homem se entende individualmente, mas principalmente em sistemas sociais. A ciência permeada em nossa cultura imbrica-se em nossas metáforas, analogias, nos léxicos, na organização da vida e nos sistemas de valores (Franklin, 1995).

A crise do paradigma moderno ocorre nesta e não em outra sociedade. Em uma sociedade onde o aval científico é aquilo que legitima não somente o saber, mas também as práticas. Portanto, a crise e o novo paradigma não são e nem podem ser somente científicos: são antes de tudo sociais, culturais.

3.4. E AFINAL, O QUE É NANOTECNOLOGIA?

3.4.1. A Disciplina Científica: Um breve histórico

Embora a nanotecnologia seja um advento do final do século XX, alguns eventos como a elaboração do modelo atômico de Dalton, há mais de duzentos anos, e os estudos químicos da matéria influenciaram profundamente seu surgimento. São registrados ainda experimentos e projetos de conformação e *design* molecular no final do século XIX e no começo do século XX, que somente nos anos 1960 ganharam o nome de engenharia molecular. No entanto, credita-se a Richard Feynman o papel de precursor da disciplina (Keiper, 2003).

O início da nanociência remonta à busca por miniaturizar os objetos, tão em voga em meados do século XX, principalmente na microeletrônica e ciências da informação. Neste sentido, em 1959, Richard Feynman, em uma conferência na Reunião da *Sociedade Americana de Física*, antecipa o que se desenvolveria alguns anos mais tarde. Com o título *There's plenty of room at the bottom* (algo como “Há muito mais espaço lá embaixo”), a fala de Feynman oferece alguns *insights* importantes para o campo que ainda surgiria. Aventa a possibilidade de manipular materiais em níveis de átomos e moléculas. Com o objetivo de armazenar informações de forma mais compacta e utilizá-las de forma mais rápida, de fabricar pequenos motores e de algumas outras formas de miniaturização, acaba por fazer

apontamentos importantes, como o fato de que as leis físicas que regem as interações no mundo macroscópico não são as mesmas que determinariam as propriedades dos átomos (Feynman, 1961).

O autor, que posteriormente ganhou o prêmio Nobel por seu trabalho em eletrodinâmica quântica, na mesma palestra chegou a oferecer dois prêmios. Um destinado a quem conseguisse construir um motor elétrico que tivesse ao menos uma de suas dimensões medindo no máximo 64 avos ($1/64$) de polegada, que foi pago ainda em 1960, e outro para aquele que conseguisse compactar o texto de uma página a $1/25.000$ partes de seu tamanho, redução suficiente para que a enciclopédia britânica coubesse na cabeça de um prego. O último prêmio só foi recebido em 1985 (Keiper, 2003).

Apesar de ser considerado como o ponto fundamental para o desenvolvimento da nanotecnologia, o discurso de Feynman não ganhou muita atenção da comunidade científica naquele momento. Passaram-se ao menos 15 anos para o surgimento do termo nanotecnologia (Keiper, 2003).

Este termo foi usado pela primeira vez somente em 1974 por Norio Taniguchi, um pesquisador da universidade de Tóquio, para se referir à habilidade de produzir materiais em nanoescala. Ainda nos anos 1970, a empresa IBM criou dispositivos que, por meio de litografia, produzem nanoestruturas com dimensões entre 40 e 70 nm (Sahoo, Parveen & Panda, 2007).

Contudo, é em 1981 que a nanociência obtém definitivamente o instrumento que consolida seus métodos. Gerd Binnig e Heinrich Rohrer desenvolveram neste ano o microscópio de tunelamento. Este instrumento, por meio de uma agulha muito fina e do uso de uma pequena corrente elétrica, permite a análise das dimensões e disposições atômicas. Posteriormente se descobriu que este mesmo instrumento com uma pequena modificação era capaz de manipular e reposicionar os átomos de forma muito precisa. Este advento e, mais

tarde, o desenvolvimento de outros instrumentos, como o microscópio de força atômica, por exemplo, possibilitaram uma grande precisão na caracterização, mensuração e manipulação de nanoestruturas e nanomateriais (Cao, 2006).

Com esta possibilidade técnica, um grupo de cientistas da companhia IBM, já em 1989, escreveu a sigla da empresa dispendo 35 átomos de xenônio. Em 1991, criaram um dispositivo usado como um interruptor atômico, passo importante para o desenvolvimento de dispositivos nanoescalares na informática (Keiper, 2003).

A partir de então e, adicionalmente, do lançamento do livro *Engines of Creation*, de Eric Drexler em 1986, a nanotecnologia passou a tomar destaque na comunidade científica (Doubleday, 2007). Algumas obras de ficção científica já no começo deste século, como a obra *Prey* em 2002, contribuíram para que a nanotecnologia entrasse nas realidades e na preocupação da população leiga (Keiper, 2003).

Um fenômeno recente que gerou bastante alarde foi uma das matérias de capa da revista *Nature*, em que uma equipe de cientistas demonstra a capacidade de conformar a molécula de DNA em qualquer configuração desejada. O que a revista chama de *origami* de DNA corresponde ao posicionamento proposital e controlado, desenhando, por assim dizer, várias figuras com a molécula, entre elas o “smile” da capa (Rothmund, 2006).

A nanociência e a nanotecnologia rapidamente demonstraram seu potencial enquanto objetos de estudo e tecnologia para o mercado. A possibilidade de transformar a medicina, a biotecnologia, a agricultura, a indústria, a ciência aeroespacial, a tecnologia de informação e as telecomunicações incentivaram vários programas a produzir tanto conhecimento científico básico, quanto aplicado (Mehta, 2002). Pesquisas em bases de dados de artigos científicos sobre ciência aplicada e tecnologia evidenciam esse incremento na produção científica relacionada à nanotecnologia. Inicialmente nula, em 1985, a pesquisa produz quase 200 artigos somente em 2001, quando os programas de pesquisa realmente começaram a

intensificar-se em vários programas pelo mundo (Mnyusiwalla, Daar & Singer, 2003). Atualmente, a internacionalmente reconhecida base de dados eletrônica *ISI Web of Knowledge* já registra 6.170 artigos acadêmicos sobre o tema (Web of Science, 2008).

Este interesse crescente na área é também evidenciado pelo investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) sobre nanociência, que do ano de 1997 a 2001, recebeu um aumento de 78% na Europa Ocidental, 240% no Japão e 264% nos Estados Unidos. Já se configuram, inclusive, grandes financiamentos para programas como o do *National Institute of Health* (NIH), dos Estados Unidos, que começou no ano de 2000 e já se tornou referência no tema (Roco, 2001).

Enquanto internacionalmente os estudos têm sido desenvolvidos em grandes grupos e centros de pesquisa, no Brasil, apesar da iniciativa de algumas universidades, a maior parte da produção é fruto principalmente do esforço individual de alguns cientistas. Mesmo enfrentando uma realidade diversa da internacional no que diz respeito a financiamento para pesquisa, os cientistas brasileiros têm publicado em importantes periódicos internacionais sobre temas relacionados à nanoeletrônica, nanoquímica, nanocompósitos, nanomateriais para liberação das drogas, nanotubos, nanomateriais magnéticos e outros (BRASIL, 2004).

Estima-se que a produção tecnológica mundial mais imediata seja voltada principalmente para a produção de materiais usados no próprio processo nanotecnológico, como microscópios e sondas; novos materiais e inovações biotecnológicas, como novos métodos diagnósticos e terapêuticos. Apesar de as previsões serem otimistas, projetando 15% de participação em toda a produção industrial mundial até 2015, o mercado ainda é incipiente e o investimento em ciência e tecnologia ainda é muito maior do que o retorno econômico (Delgado Ramos, 2008).

Apesar do grande investimento em pesquisa sobre aspectos técnicos e científicos da nanotecnologia e a chegada de alguns produtos ao consumidor, os estudos sobre os possíveis

impactos éticos dessa tecnologia são muito escassos. Enquanto a nanotecnologia já é uma disciplina estabelecida e um objeto de estudo muito analisado pelas ciências naturais, não é suficientemente conhecida pelos cientistas sociais (Strand, 2006).

3.4.2. Tecnociência: Visões e Imagens

Suspensa em algum lugar entre a realidade e o sonho, o presente e o futuro, a nanotecnologia pretende ser a tecnologia-modelo do século XXI. A promessa de transformação e manipulação da matéria e de processos biológicos a partir da nanoescala tem atraído grande aporte de investimentos, que acabam por contribuir para a legitimação da nanociência enquanto conhecimento científico (Anderson, Kearnes & Doubleday, 2007).

Essa grande expectativa diante das potencialidades da nanotecnologia ecoa na literatura sobre o tema, inclusive a científica especializada. A literatura crítica já aponta para análises destas posturas, ora a partir do conceito de imaginários tecnocientíficos (Kearnes et al., 2006), ora a partir da análise de narrativas (Sparrow, 2007) e de outras variantes do discurso que revelam interesses e práticas.

Tanto os imaginários tecnocientíficos, que expressam noções incutidas social e culturalmente de que as inovações tecnocientíficas moldarão o futuro (Kearnes et al., 2006), quanto a análise das narrativas e discursos dos vários atores envolvidos nos sistemas tecnocientíficos (Sparrow, 2007), reforçam a importância da análise da ciência e do discurso como indícios dos fenômenos sociais e culturais.

As narrativas apresentam em geral tons contrastantes. O modismo (*hype*) encontra defensores desde cientistas otimistas aos *transumanistas*. Em oposição, há vertentes de agentes políticos e esferas sociais que chegam a propor a moratória das pesquisas. Esta

aversão vem principalmente de visões distópicas e apocalípticas das aplicações nanotecnológicas.

O propósito de esboçar o cenário no qual se delinea a nanotecnologia é evidenciar como são heterogêneas as concepções que os diversos atores, incluindo os cientistas, possuem da nanotecnologia e suas considerações morais a respeito. A abordagem proposta parte, portanto, deste esforço inicial de identificar as concepções, suas origens e seus efeitos (Kaiser, 2006).

Em meio a um tema tão polêmico, tanto as visões que buscam promover a aceitação pública, quanto aquelas que provocam a resistência aos sistemas tecnocientíficos permeiam o debate ético. Neste sentido, a análise das perspectivas e visões a partir das quais se fala busca identificar fundamentos, valores e interesses para elucidar seus papéis no discurso e suas influências no debate. Este processo que começa com o levantamento das visões mais comuns sobre um tema, avança para o delineamento de um mapa dos atores, suas visões e seus locais no debate e finaliza com a análise do conteúdo ético e cognitivo das visões. A análise das visões contribui não somente para uma análise do tema, mas também para uma compreensão ainda mais ampla do próprio debate (Grin & Grunwald, 2000).

Kaiser (2006), no intuito de escapar ao dualismo tão em voga, sugere que a estratégia para se desviar de uma perspectiva utópica ou distópica no debate é, em vez de tomar a ética a partir de uma perspectiva participativa, colocar-se em uma atitude observativa, inclusive das posições extremistas. Para isso, debater sobre o caráter incerto e imprevisível da nanotecnologia não requer saber o que é a nanotecnologia para então se posicionar. A tática é, num exercício de distanciamento, observar o cenário no qual os atores constroem suas perspectivas e concepções da nanotecnologia, e sobre isto, e não sobre certezas, fundamentar a análise ética.

3.4.2.1. Imagem científica da nanociência e nanotecnologia, conceitos e aplicações

O estudo da nanociência e da nanotecnologia enfrenta um grande problema: sua atualidade. Sua curta jornada científica tem dificultado não somente a análise ética de suas aplicações: as novas estruturas e sua juventude, por assim dizer, ainda impõem desafios a pesquisadores e bibliotecas, pois a própria catalogação de referências, periódicos e patentes nem sempre é passível de ser atualizada de acordo com este novo ramo científico (Leydesdorff & Zhou, 2007).

Assim, até mesmo o objeto de estudo e o próprio campo da nanociência e da nanotecnologia não parecem consensualmente organizados. Em geral, os pesquisadores e cientistas tendem a descrever sua atividade a partir de uma perspectiva técnica. A descrição predominante entre eles é a nominal, aquela que cerca os objetos a partir de sua definição, ou seja, é nanotecnologia aquilo que corresponde à descrição e às condições necessárias. Essa concepção, da qual decorreriam apenas fatos científicos, se aproxima da defesa da distinção epistêmica entre fato e valor, não tendo por preocupação o estudo de suas práticas como uma experiência cultural, e sim simplesmente uma classificação de suas categorias operacionais (Schummer, 2007).

Esta descrição nominal, que corresponde aproximadamente a um conceito, é predominantemente pautada em referências institucionais de saúde estadunidenses. Segundo estas – e este é o conceito hegemonicamente adotado –, a nanociência tem por escopo o estudo dos materiais e dos fenômenos físicos, biofísicos e bioquímicos relacionados à dimensão estrutural desses materiais que varia entre 1 a 100 nanômetros aproximadamente. De acordo com o *National Institute of Health* (2000) dos Estados Unidos, a nanotecnologia abrange o desenvolvimento de pesquisas e tecnologia que tenham a finalidade de conhecer os fenômenos e os materiais em nanoescala e de criar e usar estruturas, mecanismos e sistemas que possuam novas propriedades e funções devido a suas dimensões pequenas ou

intermediárias. Estas dimensões relacionadas aos níveis atômico, molecular ou macromolecular variam, aproximadamente, de 1 a 100 nanômetros.

O prefixo *nano*, que vem do grego e remete a *anão*, refere-se ao pequeno tamanho das partículas. Em ciência, designa uma parte por bilhão, portanto, um nanômetro corresponde a um bilionésimo de metro (10^{-9}). Para ilustrar a reduzida escala na qual atua a nanotecnologia, o menor ponto humanamente observável a olho nu possui cerca de 10.000 nm, enquanto 1 nanômetro corresponde a 10 vezes o diâmetro do átomo de hidrogênio (Medeiros, Paterno & Mattoso, 2006).

Pode-se entender a nanociência como a área do conhecimento que estuda os princípios fundamentais de moléculas e estruturas, nas quais pelo menos uma das dimensões está compreendida entre cerca de 1 a 100 nm, as chamadas nanoestruturas. A nanotecnologia, por sua vez, seria a aplicação destas nanoestruturas em dispositivos nanoescalares utilizáveis. Fundamental é compreender que o que caracteriza a nanoescala não é apenas o seu tamanho, mas as propriedades químicas e físicas dos materiais que particularmente dele dependem (Ratner & Ratner, 2003).

Portanto, o objetivo principal da nanotecnologia não é a obtenção do benefício direto vindo da redução do tamanho das partículas. O grande atrativo de se trabalhar em nanoescala reside nas novas e incomuns propriedades físicas e químicas, não encontradas nos mesmos materiais em dimensões micro e macroscópicas. Propriedades como a resistência, dureza, condutividade elétrica, reatividade química, características ópticas e magnéticas podem mudar profundamente e até apresentar-se de forma oposta ao encontrado em amostras macroscópicas de um mesmo material (Sugunan & Dutta, 2004).

Esta potencial revolução da aplicação científica consiste na produção de dispositivos com precisão atômica, sendo resultado da interação dos conhecimentos da física quântica, biologia molecular, ciência da computação, química e engenharia (Mehta, 2004). A

nanociência tem explicado a alteração das propriedades dos materiais em nanoescala por meio da interação de dois fatores. Primeiramente, a redução a dimensões nanométricas possibilitaria observações de fenômenos explicados pela teoria quântica. Segundo este ramo da física, atribui-se uma natureza ondulatória à matéria devido ao comportamento dos elétrons que, pertencentes a uma quantidade pequena de átomos, vibram em determinadas faixas de frequência. Esta limitação do movimento eletrônico é conhecida como *confinamento quântico* e determina propriedades físicas de amostras nanoscópicas, como a cor, condutividade elétrica, etc (Sugunan & Dutta, 2004).

Outro fenômeno que atua intimamente na alteração das propriedades da matéria são os chamados *efeitos de superfície*. Ao partir-se um objeto à nanoescala, há um grande aumento da razão superfície/volume. Materiais constituídos por partículas de dimensões nanométricas apresentam propriedades diferentes devido ao aumento da razão entre o número de átomos que estão na superfície e os que estão dispersos internamente em seu volume. Decorre, portanto, deste fato, que as interações físico-químicas serão otimizadas devido à maior área de superfície (Sugunan & Dutta, 2004).

As nanotecnologias buscam aproveitar estas propriedades diferenciadas para a manipulação e manufatura de novos materiais e dispositivos tecnológicos destinados para os mais diversos fins.

Uma das mais conhecidas discordâncias na literatura sobre o tema trata justamente sobre o próprio objeto da nanotecnologia. Neste ponto, percebe-se que, ao tratar da temática da nanotecnologia, há ao menos dois tópicos diversos em pauta. Segundo alguns autores isso ocorre porque se dá o mesmo nome a dois tipos de práticas completamente diferentes: a vertente idealizada por Drexler e a que concebe a engenharia molecular. Trata-se da diferença entre uma tecnologia hábil na produção de dispositivos auto-replicantes e uma outra, que visa à produção a partir do controle e organização dos átomos (Keiper, 2003).

Uma das vertentes, tendo em vista as primeiras palavras de Feynman, advoga que a nanotecnologia consiste em uma visão inovadora e única dos processos químicos e físicos. Segundo esta perspectiva, será possível controlar o mundo em suas menores dimensões, a partir da programação de nanomáquinas que organizarão átomos e moléculas. Para isto, estas máquinas deverão ser dotadas da capacidade de auto-replicação (Drexler, 2004).

Seja porque esta concepção é por demais inovadora para ser aceita, inclusive em suas implicações sobre as concepções sobre vida e artificialidade, seja porque a fundamentação da perspectiva de Drexler se assente sobre dispositivos que ele mesmo reconhece não haver meios de construir, ao menos atualmente, esta visão é fortemente rechaçada por grande parte da comunidade científica e de sistemas institucionais (Drexler, 2004; Keiper, 2003).

Muito embora seja comum a discussão sobre nanotecnologia, ainda há muitas controvérsias a respeito de sua viabilidade e projeções. Dada a impossibilidade, ao menos presente, do desenvolvimento de dispositivos dotados de capacidade de auto-replicação e o pouco tempo da nanotecnologia, o que se faz atualmente é muito mais buscar conhecer as propriedades do que produzir tecnologia propriamente, a despeito do emprego do termo nanotecnologia em detrimento de nanociência (Cao, 2006).

No entanto, os avanços científicos já fazem com que alguns métodos de produção de nanoestruturas e nanomateriais sejam aplicados. Estes podem ser agrupados de acordo com o meio em que se produz o material: em fase de vapor (com a pirólise por laser seguida de deposição do material na forma de um filme fino), em fase líquida (processamento e agrupamento coloidal em camadas), em fase sólida (polimerização induzida por fótons para a cristalização de estruturas metálicas) e de fase híbrida (formação dos nanotubos com o envolvimento de todas estas fases). Os métodos podem também ser classificados de acordo com o tipo de estrutura produzida: nanopartículas organizadas de forma coloidal, nanotubos, deposição de filmes ou camadas e os materiais nanoengenheirados (Cao, 2006).

No entanto, de forma mais usual classificam-se os métodos de produção de nanomateriais em técnicas *top-down* (“de cima para baixo”), que correspondem em geral a um processo litográfico que, por corrosão química de um bloco macroscópico, produz partículas nanométricas do objeto; e técnicas *bottom-up* (“de baixo para cima”), nas quais há uma deposição controlada e organizada de átomos e moléculas para a formação de estruturas definidas em nanoescala (Cao, 2006).

Um levantamento recente da literatura revela que estes métodos são principalmente voltados para a exploração das propriedades químicas dos compostos nanoestruturados. Os artigos referem-se a materiais como o ouro, o óxido de titânio, o silício e polímeros em geral, ressaltando propriedades morfológicas, ópticas, catalisadoras, e propriedades eletroquímicas de deposição, absorção, oxidação, degradação e auto-replicação. Foram apontados principalmente aplicações em óptica eletrônica, lubrificação, atrito e tribologia, litografia, sistemas de controle e microssistemas (Kostoff, Koytcheff & Lau, 2008).

Estas propriedades podem contribuir significativamente para áreas como a nanoeletrônica, informática e computação, por meio de propriedades magnéticas e propriedades dos semicondutores, por exemplo; na indústria aeronáutica e exploração espacial, com contribuições para a resistência ao calor e a efeitos gerados pelo vácuo e pela gravidade, e no fornecimento de energia; na indústria química; para o meio-ambiente e energia, com o uso de materiais ecologicamente mais favoráveis por causarem menos desperdício de matéria e energia devido ao melhor controle da produção e engenharia molecular; para a defesa e indústria bélica, com a produção de sistemas de monitoramento e armas químicas; além da medicina com o desenvolvimento de técnicas nanocirúrgicas, terapia gênica, liberação das drogas e diagnóstico, hipertermia por meio de magnetismo, etc (Sweeney, Seal & Vaidyanathan, 2003; Mehta, 2002; Roco, Williams & Alivisatos, 1999).

Em um estudo sobre a visão que os cientistas brasileiros têm em relação à nanotecnologia, Invernizzi (2008), ao pesquisar sobre as publicações em um importante meio de divulgação científica no País, o *Jornal da Ciência*, constatou que as matérias tratavam principalmente de prover informação geral sobre nanotecnologia e suas aplicações; relatar as pesquisas internacionais; relatar pesquisas brasileiras; debater políticas de ciência e tecnologia e financiamento para o setor no Brasil; abordar a infra-estrutura, recursos humanos e organização da pesquisa no Brasil; aventar riscos e implicações econômicas, sociais, legais e éticas; informar sobre eventos, cursos, feiras, editais, etc.

As matérias se revelaram bastante otimistas. Ao tratar do tema como uma “revolução tecnológica”, uma “ruptura”, a “próxima revolução industrial”, reconheciam na nanotecnologia um imenso potencial para o desenvolvimento econômico, assim como ganhos para a saúde e qualidade de vida e para a preservação do meio ambiente. Por vezes, de forma bastante inespecífica, expressavam este otimismo ao ressaltar a capacidade de trazer grandes “benefícios para a humanidade” (Invernizzi, 2008).

De acordo com a tendência na comunidade científica, as matérias evitaram a discussão sobre a visão de Drexler e enfocaram no aumento da eficiência de produtos e mecanismos: como fármacos e próteses e outros temas relacionados à saúde; avanços na informática, microeletrônica e nanoeletrônica; novos materiais; cosméticos; dispositivos para processos produtivos e produtos; produção e armazenamento de energia; telecomunicações; indústria química e petroquímica; agricultura e agroindústria; nanomáquinas e produtos de consumo conhecidos com novas funções (Invernizzi, 2008).

Segundo as matérias, as principais contribuições que a nanotecnologia pode oferecer serão destinadas aos campos da informática e eletrônica, de produção de novos materiais e da saúde. Para a informática, a nanotecnologia possibilitará a construção de nanocircuitos usando materiais biológicos como o DNA, computadores moleculares muito mais potentes, mais

velozes, de maior memória e menor tamanho que os atuais. Os novos materiais poderão ser usados para a produção de sensores automobilísticos, materiais aeronáuticos, vidros e materiais ópticos, tecidos de nanotubos de carbono com propriedades de resistência e sensoriais, partículas removedoras de odor, material têxtil, e proteção contra ataques biológicos (Invernizzi, 2008).

Especificamente na saúde, a nanotecnologia possibilitaria benefícios como nanocomputadores e nanorrobôs que circulam pelo organismo e monitoram a entrega de medicamentos, inclusive no interior de células vivas; síntese de órgãos e tecidos para substituição a partir de moléculas; tratamento com nanopartículas com absorção seletiva por células cancerígenas, substituição de células neuronais; sistemas de permanente monitoramento da homeostase, constituindo verdadeiros nanolaboratórios que não somente detectam, mas também tratam as alterações patológicas (Invernizzi, 2008).

3.4.2.1.1. Nanomedicina

Apesar de ter sido cunhado por volta de 1996, o termo nanomedicina só despontou em publicações científicas a partir do ano 2000. Embora seja de difícil conceituação devido às interfaces com a biotecnologia, nanomedicina pode ser entendida como o uso de materiais em nanoescala ou nanoestruturados em medicina que, devido a sua estrutura molecular e atômica e aos fenômenos da física quântica relacionados, possuem efeitos médicos únicos (Wagner et al., 2006).

A importância e a crescente pesquisa na área são evidenciadas quando comparamos a produção sobre o tema nos anos 1980, quando ainda não havia sequer o nome nanomedicina. A literatura, que então produzia em torno de dez artigos por ano, no ano de 2004 apresentou uma produção de mais de 1.200 artigos referidos no *Science Citation Index*. O crescimento do

número de patentes relacionadas é também estrondoso: de 220, em 1993, a 2.000, em 2003, somente na Europa Ocidental (Wagner et al., 2006).

A viabilidade da chamada nanomedicina reside nas inúmeras possibilidades de aplicação de dispositivos e materiais nanoestruturados em nível molecular para o monitoramento, reparo, construção e controle dos sistemas biológicos humanos (Sahoo, Parveen & Panda, 2007), podendo ser aplicada na liberação de agentes terapêuticos, na produção dos princípios ativos, na imagiologia, em diagnósticos laboratoriais, na produção de biomateriais e implantes (Wagner et al., 2006).

3.4.2.1.1.1. Aplicações da nanomedicina

A gênese da nanomedicina remonta à idéia de Feynman de fabricar pequenos robôs e introduzi-los no corpo humano para fazer reparos celulares em níveis moleculares. Sem distanciar-se tanto da idéia original de Feynman, como é o caso do uso de nanopartículas em terapia gênica, a nanomedicina ampliou suas possíveis aplicações, todas embasadas na capacidade de estruturação atômica e molecular das partículas e nas suas propriedades físicas particulares (Freitas Jr, 2005).

Freitas Jr foi o primeiro autor a publicar um extenso livro-texto sobre o tema nanomedicina em 1999. Em seu compêndio, especula sobre como os nanorrobôs podem navegar pelo corpo humano para analisar as condições do meio, seus sistemas sensores e de comunicação, as vias de obtenção de energia e, por último, da biocompatibilidade e da interação desses dispositivos com os seres humanos. As possibilidades da nanomedicina não se restringem ao diagnóstico. Uma das terapêuticas idealizadas por Freitas Jr se desenvolveria a partir de um dispositivo chamado de respirócito, capaz de aumentar a capacidade respiratória, por transportar e liberar o oxigênio de forma mais eficiente do que as hemácias humanas (Keiper, 2003).

Uma análise bibliográfica revelou que a literatura sobre nanotecnologia e saúde concentra-se principalmente em temas como: tratamento do câncer, sensores e diagnóstico, manipulação de células, proteínas e DNA. Esses tópicos aparecem quando os artigos discorrem sobre dispositivos, como os microscópios e outros instrumentos de diagnóstico e manipulação da matéria, moléculas, células, tecidos, mas também naqueles que dissertam sobre fenômenos, como a liberação de drogas e fluorescência de materiais, e reações, como a cadeia de polimerase (Kostoff, Koytcheff & Lau, 2008).

Artigos de revisão costumam enumerar os seguintes eixos de aplicação nanotecnológica:

a) Liberação de drogas

A farmacocinética dos medicamentos possui importantes implicações na sua biodisponibilidade e eficácia. Materiais nanoestruturados trazem a promessa, devido a propriedades de interação bastante específicas, de controlarem variações causadas pela circulação sistêmica dos fármacos, toxicidade e biodisponibilidade, efeitos da metabolização no fígado e interação com o meio estomacal, por meio de ação guiada e reação específica com o órgão ou tecido-alvo. A nanotecnologia pode ainda favorecer tratamento em tecidos biologicamente protegidos por barreiras, como a hematoencefálica, por exemplo (Sahoo, Parveen & Panda, 2007; Hughes, 2005).

Esta especificidade de atuação e eficácia, o controle da biodisponibilidade e tempo de liberação da droga permitem a retomada de vias de administração bastante restritas atualmente, como é o caso da via inalatória, transdérmica, transmucosa e implantes subdérmicos (Hughes, 2005).

A possibilidade de controlar não somente o tamanho das moléculas, mas também sua estrutura, permite que a interação de proteínas, nanotubos de carbono, polímeros, dendrímeros

e lipossomos ocorra com uma especificidade celular promissora para o tratamento de diversas patologias, como a especificidade por células tumorais dentre o restante do tecido sadio (Hughes, 2005).

b) Terapia gênica

A terapia gênica, embasada na substituição de genes relacionados à manifestação de determinadas doenças, é comumente possibilitada por um vetor viral que carrega o novo gene para o interior do genoma celular, podendo também ser carregado por outras vias, como a injeção direta de material genético no tecido (Sahoo, Parveen & Panda, 2007).

No entanto, a técnica mais comum, por vetores virais, apresenta desvantagens como o difícil controle da síntese e reprodução dos vetores e respostas imunológicas indesejadas. As nanopartículas apresentam características interessantes para o desempenho desta terapia. Devido ao seu tamanho, as respostas imunológicas são mínimas. A possibilidade da síntese direcionada da estrutura molecular e a especificidade na interação celular proporcionam propriedades que começam a ser estudadas para a introdução da nanotecnologia neste tipo de terapêutica (Sahoo, Parveen & Panda, 2007).

c) Diagnóstico

Devido ao seu tamanho, as nanopartículas têm uma importante aplicação no diagnóstico molecular. Por meio de *biochips* e *microarrays*, detectam determinadas interações moleculares específicas de algumas patologias, por exemplo. O uso de nanopartículas de ouro para imunoenaios, devido a suas propriedades ópticas e magnéticas, é um exemplo do uso corrente da nanotecnologia para diagnóstico molecular (Sahoo, Parveen & Panda, 2007).

O uso de nanopartículas também traz contribuições importantes para a imagiologia. Por meio de nanopartículas como agentes de contraste, são possíveis melhores biodistribuição e contraste por especificidade tecidual (Wagner et al., 2006).

d) Biomateriais e implantes

A produção de biomateriais e implantes pode sofrer importantes transformações devido à capacidade de melhorar as propriedades mecânicas e de biocompatibilidade por meio de engenharia molecular. Podem tanto oferecer uma maior razão superfície/volume, o que capacitaria maiores interações bioquímicas, quanto estruturar e apresentar sinais moleculares específicos, como fatores de crescimento e diferenciação celulares, de grande importância para implantes em tecidos ósseos, por exemplo (Wagner et al., 2006).

3.4.2.2. Imagem filosófica da nanociência e nanotecnologia

A distinção entre a perspectiva filosófica da ciência e a perspectiva científica dela é uma opção de abordagem do tema desenvolvida ao longo desta Dissertação, assim como a proposital indistinção entre os conceitos de tecnologia e ciência. A escolha pela fusão dos conceitos reconhece os sistemas técnicos que formam a tecnociência, mas centra-se na atual continuidade dos processos tecnológicos e científicos (Olivé, 2000).

Paralelamente à percepção da ciência como um conhecimento puro, isento de interesses e valores, temos uma tendência a imaginar a tecnologia como um conjunto de dispositivos e mecanismos. No entanto, a ciência ultrapassa o conjunto de conhecimentos científicos e constitui um organismo dinâmico, composto por práticas, ações e instituições, destinadas a certas finalidades, em função de um panorama de desejos, interesses e valores. Da mesma forma, um sistema técnico inclui também as pessoas e os fins que perseguem,

assim como os conhecimentos, crenças e valores que comportam ao operar as tecnologias (Olivé, 2000).

A relação entre o saber e o poder nunca foi tão concentrada e eficiente na modificação, controle e reprodução da vida. Da perspectiva mais complexa da ciência e da tecnologia e, portanto, dos facetados sistemas e relações entre o saber-fazer e todo o contexto em que se insere, surge a forma de fazer e viver a ciência atualmente. O caráter mobilizador das estratégias de biopolítica e biopoder – concebidos, grosso modo, como o controle das populações e dos indivíduos baseado no poder de deixar viver – faz com que pouco se questione a respeito da ciência. Surge a chamada tecnociência, como uma expressão clara de que a ciência não é produzida pela vontade gratuita do conhecimento, mas por uma busca de inovação, produto da reação irreversível entre a experimentação e o mercado (Novaes, 2003).

Esta realidade que atinge a todos, em seus jogos de (bio)poder e complexidade, introduz o paradigma biotecnocientífico, que após a revolução biológica, tornou-se um dos tópicos morais mais importantes das sociedades contemporâneas, além de objeto de estudo da Bioética (Schramm, 1996).

Esta revolução biológica eclode com a descoberta do código genético e da possibilidade de programá-lo em função dos desejos e projetos humanos, em princípio, para o bem-estar. Desta forma, o saber neste momento está mais para um saber-fazer proporcionado pela aliança entre tecnociências da linguagem e tecnociências biológicas. O saber atual não se limita a compreender e descrever a vida, mas possibilita modificá-la a partir da informação que a constitui (Schramm, 1996).

Este marco, porém, não vem sem antecedentes. A tentativa de compreender e modificar o corpo certamente não é objetivo novo da ciência deste século ou do anterior. Os anatomistas imersos no corpo o desvelaram e contribuíram para a emergência de uma explicação mecanicista do organismo. Estas descobertas abriram espaço para o homem

artificial. E, em um contínuo, o homem, dicotomia de corpo e alma, fez sua parte imaterial também palpável ao eleger o cérebro centro de suas funções. O conhecimento da realidade pareceu próximo, a teoria celular e a patologia celular antecederam a descoberta do código genético (Novaes, 2003).

Então, o corpo, estilhaço de vários reflexos, sob o domínio da ciência, tomou uma dimensão crucial em nossa cultura. Não somente ele, mas as alterações que a ciência pode nele fazer, determinam a forma como experimentamos o tempo e o espaço. O corpo torna-se cultura e a ela se submete. Não como antes, como sempre, mas a partir de dentro, de sua programação (Sibilia, 2002).

No entanto, essa perspectiva, que pretende explicar toda a existência da vida na Terra a partir da informação contida no material genético e os derivados sonhos de controlar a totalidade dos processos vitais, encontra críticas mesmo dentro da comunidade especializada (Sibilia, 2002).

As conseqüências dos cada vez mais introjetados agentes artificiais vão muito além da biocompatibilidade. À medida que estabelecem trocas mais fluidas e íntimas com o organismo, dissolvem-se as barreiras entre os agentes artificiais e os orgânicos e também os limites entre o natural e o artificial. O biopoder se expressa como nunca, ao enunciar que a evolução tecnológica é milhões de vezes mais rápida do que a seleção natural e que não precisamos esperar contingências do acaso para determinar o desenvolvimento de nossa espécie (Sibilia, 2002).

Assim, é sobre a vida que se assenta a primeira grande ruptura que mais tarde moldaria as estruturas de biopoder encontradas no paradigma bioetnoscience. As relações eram fundamentalmente diversas nas sociedades pré-industriais em que:

A dinâmica característica desse tipo de poder consistia em **fazer morrer**, pois tal regime se embasava no direito do confisco: eram prerrogativas do soberano as apreensões de bens, corpos, tempo e vidas. Apesar disso, nos interstícios desse magno poder de morte, o soberano simplesmente **deixava viver**. As formas jurídicas cristalizadas no prometéico século XIX, entretanto, enunciaram um tipo de direito completamente distinto, o de **fazer viver e deixar morrer**. (...) Tal é a configuração que adquirem as redes de poder nas sociedades industriais, numa dinâmica que Foucault sistematizou com o nome de **biopoder**: um tipo de poder fundamental para o desenvolvimento do capitalismo, cujo objetivo é produzir forças, fazê-las crescer, ordená-las e canalizá-las, em vez de barrá-las ou destruí-las (Sibilia, 2002, p.163).

A segunda ruptura é justamente a revolução biológica, a descoberta do código genético que encabeçou uma série de transformações biotecnológicas, às quais se adicionou mais recentemente a nanotecnologia. A revolução biológica marca as fronteiras entre dois modelos de ciência, distintos em metáforas e abordagens. O modelo antecedente à revolução era marcado por dispositivos mecânicos que automatizaram profundamente diversas funções e transferiram seus ritmos para os corpos e as rotinas dos homens. Era a metáfora do relógio que ditava a cadência do mundo: o homem, a mais importante das engrenagens, compunha um mundo que uma vez iniciado, continuou por si mesmo, a lei da gravitação dispensava maiores intervenções divinas (Sibilia, 2002).

Em um primeiro momento, é o corpo morto que se encaixa perfeitamente no modelo e explicações mecanicistas. O corpo vivo, incompreensível, é partido em dois e sua chama vital abre espaço para o estudo detalhado das partes materiais. Esta tradição científica concebe a tecnologia como a possibilidade de estender e potencializar gradativamente as capacidades do corpo, sem aspirar ao infinito, reconhecendo o humanamente possível e desejável. O corpo, no tempo do relógio, é reconhecido em sua estrutura mecânica e as tecnologias, em seu caráter **analógico** (Sibilia, 2002).

Posteriormente, as sociedades de controle e a disciplina dos corpos perdem algumas de suas características. Os dispositivos de poder tornam-se mais sutis e aparentemente mais eficazes. As técnicas disciplinares se sofisticam, mimetizam o mercado, adaptam-se para a sociedade da informação. O capitalismo pós-industrial modela os corpos de outra maneira. O relógio e o dinheiro ainda se entrelaçam, mas de maneira nova. Os relógios são internalizados, habitam as casas, tornam-se por vezes artigos de luxo nos pulsos. O tempo digital perde os seus interstícios. No mundo **digital**, não mais os ponteiros, mas a dupla-hélice faz as cabeças, e os corpos (Sibilia, 2002).

Assim, o encontro temporal das tecnologias analógicas com as tecnologias digitais provoca verdadeiras convulsões epistemológicas, antropológicas e biológicas. Convivem as técnicas analógicas que moldam e esculpem os objetos no sentido de normalizá-los e as técnicas digitais que programam as mudanças nos corpos para que evoluam e aumentem sua *performance*. As transformações antes físicas, por força, encontram nuances fluidas, por vezes imperceptíveis de energia e informação. A tecnociência digital revela o código da vida tornando, na sociedade da informação, os seres vivos maleáveis. O tratamento de doenças e o combate à morte, que nos métodos analógicos resiste à técnica, por meio da intervenção digital tornam-se próprios, intrínsecos. A doença não mais se centraliza nos miasmas e depois nos microrganismos; somos portadores da morte, os genes predestinam nossas doenças. As dimensões da vida são “biologizadas” e a intervenção é técnica e individual. A ciência torna-se tecnociência, propõe a si poucas perguntas e se concentra nas tarefas de prever, controlar e intervir. Mas esta intervenção não é mais como antes, sobre o *hardware*: a ciência, que incorpora a lógica e a cosmologia das ciências da informação, age no *software*, sobre as informações em métodos de contínuo monitoramento (Sibilia, 2002).

A legitimidade da ciência faz da informação a verdade e não sua representação. Embora as perspectivas científicas das práticas digitais sejam extremamente otimistas, a

prática encontra complexidades sociais e a convivência com mecanismos analógicos. Frente a isso, a ciência credita os limites de suas aplicações a dimensões técnicas: conseqüentemente, as soluções também o são (Sibilia, 2002).

A própria Sibilia (2008, p.8) esclarece:

As nanotecnologias fazem parte desse novo campo de saber, constituído na segunda metade do século XX e cuja potência tem se intensificado notavelmente em anos recentes. Trata-se de um conjunto de explicações teóricas e ferramentas técnicas que tratam o corpo humano não mais como um velho artefato da era industrial – puro *hardware* insuflado por uma essência misteriosa que é inacessível ao conhecimento humano – mas como uma máquina compatível com nossos artefatos de ponta. Isto é, um organismo cujas ‘essências’ estão deixando de ser enigmáticas porque podem ser convertidas em dados. Esse núcleo vital de cada um de nós pode ser traduzido em informação digitalizável e (...) essa informação assim extraída é compatível com as nossas máquinas e pode ser não apenas decodificada, mas também – e, talvez, sobretudo – editada. Eis a mutação antropológica que se anuncia: a natureza humana deixou de ter limites fixos e rígidos. Agora é possível ‘reprogramar’ suas características e funções, abrindo o horizonte para além do que costumávamos conhecer como ‘humano’. (...) E, assim, inaugura-se uma era que alguns denominam pós-orgânica, pós-biológica ou, inclusive, pós-humana.

De forma semelhante, pode-se propor uma distinção entre as *biotecnologias tradicionais* e as *biotecnologias modernas*. Por um lado, aquelas acompanham os seres humanos pelo menos desde que eles aprenderam a utilizar microrganismos para produzir gêneros alimentícios, como pão, vinho e laticínios, ou controlar a qualidade genética por cruzamento selecionado de animais e de plantas. Já as *biotecnologias modernas*, só estréiam no fim dos anos 1970, quando uma revolução prático-cognitiva, a *revolução biológica*, tornou possível práticas de engenharia genética a partir da interação entre biologia molecular e a informática (Schramm, 1999).

A nanotecnologia, como uma *biotecnologia moderna*, pode ser entendida, com suas extraordinárias promessas e imprevisíveis riscos, em um contexto maior, como um segmento prático de um novo paradigma científico. Kuhn (2001), em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, descreve o surgimento da ciência moderna e os *paradigmas científicos* como os sucessivos modelos de fundamentação das teorias científicas. A *ciência normal* corresponderia à pesquisa baseada em realizações científicas que são reconhecidas por algum tempo como fundamentos para a prática posterior. Assim, a ciência normal é fundamentada em paradigmas, ou seja, modelos que estruturam e ordenam o conhecimento científico atual, determinando os métodos e os objetos de estudo. São, portanto, os paradigmas que dão corpo à ciência normal, que em geral desenvolve-se para afirmar e confirmar a teoria e concepções comuns aos cientistas.

No caso da nanociência de forma mais ampla, o paradigma anteriormente vigente é o da Mecânica Newtoniana, que avançou a partir da hipótese cartesiana, completando-a em alguns aspectos, para descrever a interação dos corpos macroscópicos. Ainda de acordo com Kuhn (2001), é da própria ciência normal vigente que se estrutura a revolução científica que dará origem ao próximo paradigma. Assim, a pesquisa normal, seguindo o método científico cartesiano de análise, estudo e síntese, influenciou o estudo dos corpos e interações e fez com que, dentro de um determinado contexto histórico, a tentativa de aplicação do paradigma vigente para a miniaturização dos objetos resultasse em sua própria crise.

A busca da verificação da validade do paradigma teórico, fim último da ciência normal, leva à detecção de imperfeições e incoerências entre a teoria e os fenômenos (Kuhn, 2001). A procura pela explicação última, da lei universal que rege o comportamento de todos os corpos em sua menor unidade, se vê frustrada, tamanha a divergência com o mundo macroscópico. Em níveis atômicos e moleculares, as leis que determinam as interações estão relacionadas à natureza ondulatória dos elétrons e às implicações da frequência e

comprimento de ondas nos quais vibram. É da observação de comportamentos em escalas nanométricas, distintos daqueles previstos pela teoria científica vigente, que se ocupa a física quântica (Ratner & Ratner, 2003).

A apropriação do novo paradigma científico vai além da mudança da teoria física que o explica. A Nanotecnologia representa a “convergência da física quântica, biologia molecular, ciência da computação, química e engenharia” (Mehta, 2004). É, portanto, expoente de um tipo de conhecimento que difere da produção científica cartesiana que busca a especialização: resulta da convergência para a concepção interdisciplinar, por meio da transferência e interação de métodos, aplicações e fundamentações teóricas entre diversas disciplinas (Garrafa, 2006b).

Aproxima-se, desta forma, de forma semelhante à bioética, às necessidades e aos paradigmas científicos da complexidade contemporânea, onde as interações disciplinares também extrapolam a divisão convencional entre ciências exatas, humanas e biomédicas. A nanociência diverge, então, do método científico baseado na análise para obtenção do conhecimento que, em busca da objetividade da prática científica, gerou a disjunção dos saberes e a ignorância recíproca entre as ciências humanas, inconscientes do físico, e as ciências naturais, inconscientes da realidade social (Morin, 2001).

Morin (2001), em confluência com as idéias de Kuhn (2001), afirma que esta disjunção levou à impossibilidade da observação do mundo em sua real complexidade, à redução da realidade a regras e a leis “matematizadas” que o explicariam perfeitamente, ignorando o imprevisto ou tomando-o como erro. A realidade passou a ser concebida como a soma dos fenômenos observáveis, sem contemplar as possíveis interfaces entre a ciência e a filosofia, entre as ciências humanas e as biológicas.

A partir da percepção da realidade em sua complexidade, uma nova tecnologia e um novo paradigma científico têm implicações práticas que ultrapassam os limites disciplinares

originários. O pensamento complexo é ilustrado como uma rede e procura analisar as possíveis interações entre os mais diversos níveis de realidade e as repercussões dos fatos, consciente, porém, que o imprevisto é característica dos fenômenos e não um resultado do erro ou algo a ser desprezado (Morin, 1990).

A partir da complexidade, a ruptura entre ecologia e sociologia, em que a análise científica tem por objeto o meio sem o homem e o homem fora do ambiente, é artificial e etnocêntrica. Logo, a análise das possíveis conseqüências da nanotecnologia deve ocorrer de forma a não se desconectarem estas dimensões (Victoriano, 2006). Esta compreensão é fundamental na análise das reais implicações e distribuição dos benefícios sociais causados pela economia de energia e matéria proporcionada pela indústria nanotecnológica (Schnaiberg, 2006).

Um novo paradigma surge, em geral, com respostas mais adequadas a questões não respondidas pelo anterior, capacitando os cientistas a explicar um maior número de fenômenos ou de forma mais precisa alguns dos fatos previamente conhecidos. Por isso, a aplicação de novas tecnologias gera polêmica, tanto por parecer ingenuamente a alguns como a solução de todos os problemas do mundo, como por explicitar um conjunto de fenômenos desconhecidos, gerando descrédito e, por vezes, pânico frente ao desconhecido (Kuhn, 2001).

A nanotecnologia é paradigmática neste sentido. Por vezes apresenta-se na forma de uma tecnologia revolucionária que mudará a forma de viver do homem, por meio da sua utilização na indústria, comunicação e informática. Na medicina, parece apresentar ainda mais soluções para as limitações humanas, prometendo cirurgias menos invasivas e mais eficazes, medicamentos mais específicos, tratamento de doenças como o câncer e até mesmo a possibilidade de proporcionar melhoras dos processos cognitivos e da memória (Freitas Jr, 2005).

Por outro lado, o desconhecimento atual do real alcance da nanotecnologia leva a reações extremas, alardeando riscos ambientais, implicações sociais e no modo de viver humano. Exemplo é o debate em torno do chamado *grey goo*, que se refere à situação em que os dispositivos nanoescalares, os nanorrobôs, dotados de capacidade de auto-replicação ocupariam o mundo, fugindo ao controle humano e, por fim, eliminariam a espécie do planeta (Drexler, 2004).

Essa recepção da nanotecnologia pelos grupos sociais envolvidos destaca nela o seu caráter de inovação. Assim, os produtos nanotecnológicos, mais do que invenções para soluções de problemas técnicos, representam uma mudança de perspectiva intelectual ou cognitiva. A inovação constitui a aplicação social da invenção, marcada por novas práticas de consumo, de subjetivação e, às vezes, de reformulação de percepção e interações sociais (Premida, 2008).

Por esta razão, as nanotecnologias, enquanto sistemas tecnológicos, estão submetidos a um complexo universo simbólico humano, em que qualquer artefato técnico, até o ainda não realizado, é um construto de uma estrutura imaginária de definição e organização de seu significado em uma ordem social (Premida, 2008).

Ainda que a investigação científica seja um agregado de variáveis sociais, valores culturais e fatos do mundo material, no meio científico quando são reconhecidas as interferências de questões sociais, políticas e econômicas sobre o conteúdo de uma teoria e a autonomia de uma pesquisa, isto, em geral, é feito para explicar o erro científico e não sua verdade (Premida, 2007).

Assim, principalmente para ciências de forte apelo experimental, a ciência não se realiza no “mundo das idéias”. Constitui, por vezes, uma representação rica do mundo, um microcosmo que reproduz a maioria das contingências macro-sociais (Premida, 2007). Não é por acaso que a nanotecnologia estimula tantas controvérsias ou apresenta tamanhos desafios

éticos. Em reflexões infinitas de imagens, a sociedade e a ciência se reconhecem na nanotecnologia, na sua vocação para o indivíduo, centro de sua ação, para proporcionar-lhe formas perfeitas, mas o dissipa em conflitos de privacidade e o torna etéreo, sem necessidade do corpo obsoleto, no mundo digital do porvir. Assiste a morte da natureza selvagem e exótica e substitui pela tecnociência e seus nanorrobôs, dilui os conceitos entre o artificial e natural e, sem coincidências, prescreve remédios tecnológicos para a morrente e decaída natureza.

Neste caminho, a nanotecnologia, assim como o Projeto Genoma Humano e outros projetos como o Biosfera II têm em comum a busca da informação, o retorno aos códigos, às origens mais primordiais, o objetivo de delinear um conhecimento anterior e uma interferência prévia na busca de uma saúde perfeita, de uma natureza perfeita. A tecnociência representa, portanto, o instrumento para tais realizações (Sfez, 1996).

Expoente da tecnociência de seu tempo, provavelmente a nanotecnologia não inclua qualquer tema ou princípio novo para as discussões já estabelecidas sobre ética, pesquisa e ciência. Levanta questões já conhecidas como privacidade, concepção de ser humano, justiça, riscos, eugenia (Keiper, 2007). No entanto, a nanotecnologia ainda mantém seu caráter revolucionário. Ela revela a faceta mais temida por alguns: o progresso científico, como nunca, apresenta o ser humano como um animal, fruto da mesma pressão evolutiva que os demais; um animal que adquiriu a capacidade de interferir e controlar sua própria evolução. O poder de interferir na evolução ou o discurso sobre este poder são os desafios impostos à análise dos impactos éticos e sociais da nanotecnologia (Susanne, Casado & Buxo, 2005).

4. MÉTODOS

O presente estudo teve como base a análise da literatura sobre as repercussões éticas das aplicações nanotecnológicas. Buscando delimitar a pesquisa às discussões relacionadas às ciências da saúde, o levantamento bibliográfico concentrou-se sobre a literatura médica e a literatura bioética específica sobre a temática.

Em busca de maior abrangência da discussão, os artigos foram levantados em âmbito nacional (Brasil), regional (América Latina) e Internacional.

Com este intuito, a pesquisa em literatura médica internacional se deu na base de dados Pubmed, maior base de dados médica internacional financiada pela *National Library of Medicine* (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>).

A literatura médica regional, da América Latina e Caribe, foi acessada por meio da base de dados LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde), mantida pela BIREME (Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde – antiga Biblioteca Regional de Medicina), disponível como uma opção de pesquisa especializada (<http://bases.bireme.br/>).

A pesquisa na literatura médica nacional foi feita por meio da base de dados Scielo (*Scientific electronic library online*), mantida também pela BIREME.

Para a literatura bioética, acessou-se a mais abrangente base de dados específica sobre bioética, a base ETHXWeb do *Kennedy Institute Library*. A busca em âmbito latino-americano foi realizada na base Biblioteca Virtual em Bioética (BIOÉTICA), também desenvolvida e mantida pela BIREME (<http://bioetica.bvsalud.org/html/es/home.html>). A busca foi complementada em revistas de destaque em bioética no País, já que não há base de

dados específica em bioética no âmbito nacional. Foram selecionadas revistas nacionais específicas sobre Bioética indexadas e qualificadas pelo portal eletrônico de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES): a *Revista Brasileira de Bioética, Bioética e Cadernos de Bioética*.

As fontes utilizadas na pesquisa dos artigos, de acordo com os critérios acima, estão ilustradas no quadro 1.

Quadro 1- Base de dados e alcance da literatura

Bases de dados	Literatura Médica	Literatura Bioética
Internacional	Pubmed	ETHXWeb
Regional	LILACS	BIOÉTICA
Nacional	Scielo	Revistas indexadas e qualificadas (<i>Revista Brasileira de Bioética, Bioética e Cadernos de Bioética</i>)

Utilizou-se o método de busca por descritores, que organiza os conceitos em uma estrutura hierárquica permitindo a execução de buscas mais amplas ou específicas, possibilitando estratégias mais satisfatórias de busca (BIREME / OPAS/ OMS, 2008). A busca dos artigos foi realizada por descritores sobre “nanotecnologia e ética”, que representam de maneira sistematizada a terminologia utilizada nos artigos contidos nas bases de dados. Na ausência de bases de dado, obtiveram-se os resultados por meio das palavras-chave “ética e nanotecnologia”, uma vez que combinações como “nanoética” e “nanotecnologia e bioética” se mostraram contidas no termo inicial mais abrangente.

Foram empregados os métodos por descritores disponíveis em cada uma das bases de dados, quais sejam, a terminologia Mesh (*Medical Subject Headings*), utilizada pela Pubmed;

a DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), desenvolvido pela BIREME e o *National Reference Center For Bioethics Literature Library Classification Scheme*, um sistema numérico localizador de tópicos usado pela ETHXWeb.

Foram levantados todos os artigos científicos que correspondessem à palavra-chave e descritores relacionados a “*ética e nanotecnologia*” publicados até a última data do levantamento, dia 10 de junho de 2008.

Foram excluídos do estudo: os artigos que não foram obtidos como resultados pelas buscas nas bases de dados e nos *sites* das revistas até a última data de levantamento (mesmo aqueles que fossem referentes ao período envolvido, no caso de atraso de publicação das revistas ou da não inclusão por parte da base de dados) e aqueles textos que não corresponderam formalmente a artigos científicos, levando-se em consideração os critérios de Manuscritos médicos de Vancouver (ICMJE, 1999), sendo excluídos, por exemplo, resenhas de livros, cartas do leitor, etc.

Os artigos foram obtidos em formato digital por intermédio do acesso conveniado pelo Portal de Periódicos CAPES e de plataformas digitais trocadas entre a Biblioteca Central da Universidade de Brasília e a *National Reference Center For Bioethics Literature Library*.

Os artigos foram todos colocados em uma mesma pasta digital, estratégia para evitar o viés de classificação segundo a base de dados. A leitura dos artigos buscou identificar sua abordagem das implicações éticas da nanotecnologia.

Com a finalidade de avaliar o discurso utilizado na discussão dos impactos éticos e sociais da nanotecnologia, o conteúdo dos artigos selecionados foi analisado a partir do referencial teórico de Olivé (2000), relativo às imagens *científica e filosófica* de ciência. Dado que a literatura analisada se limitava a artigos científicos, a *imagem pública* não foi considerada pertinente à classificação.

No intuito de identificar tais imagens, inicialmente levantou-se o que a literatura médica e a literatura bioética trazem de reflexão ética sobre o tema, buscando a discussão ética dos cientistas sobre sua própria atividade e a reflexão bioética do tema, para posteriormente atribuir às falas as imagens mais apropriadas.

Para isso, o referencial metodológico proposto por Grin & Grunwald (2000) para a análise das perspectivas e visões orientou a leitura dos artigos. A análise de visões busca identificar fundamentos, valores e interesses para elucidar seus papéis no discurso e suas influências no debate. Este processo, que começa com o levantamento das visões mais comuns sobre um tema, avança para o delineamento de um mapa dos atores, suas visões e seus locais no debate e finaliza com a análise do conteúdo ético e cognitivo das visões. Tal abordagem contribui para uma análise não somente do tema, mas uma compreensão ainda mais ampla do próprio debate.

Foram ainda aferidos: a que área ou disciplina científica pertencia o artigo e/ou o autor, o ano de publicação e a importância relativa dos artigos, a partir do *Journal Impact Factor*, um indicador bibliométrico de impacto.

Por meio da análise dos dados aferidos e da análise da literatura selecionada, foram identificadas as características da produção bibliográfica sobre o tema, quais as principais implicações éticas já delineadas pela literatura e os referenciais e parâmetros teóricos que pautam a discussão já publicada.

5. RESULTADOS – ÉTICA E NANOTECNOLOGIA NA LITERATURA MÉDICA E BIOÉTICA

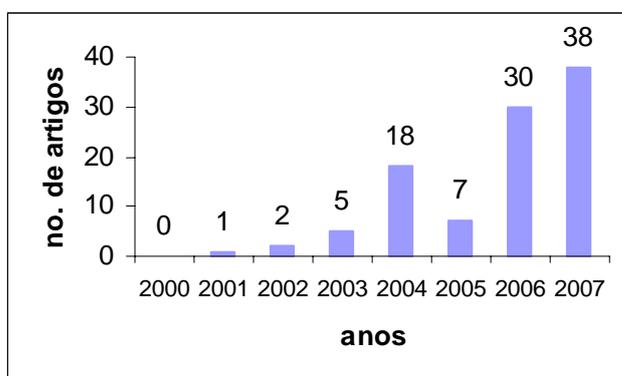
Dos resultados encontrados pela pesquisa em todas as bases de dados e revistas, foram selecionados ao todo 101 artigos que correspondiam aos critérios de inclusão formais e temáticos. Destes, 27 artigos foram listados em mais de uma fonte de dados (base de dados e revistas separadamente), entre os quais um era comum também à base Lilacs e à base Scielo. Esta distribuição é ilustrada no Quadro 2.

Quadro 2. Resultados apontados pelas fontes de dados e artigos selecionados como amostra

Artigos	Pubmed	Lilacs	Scielo	Ethxweb	Bioética (Regional)	Nacional
Encontrados	63	1	1	171	0	0
Selecionados	44	1	1	84	0	0

Os artigos foram escritos a partir de 2001; destes, 38 foram publicados somente no ano de 2007. A figura 1 apresenta o desenvolvimento na produção ao longo do tempo.

Figura 1. Artigos sobre aspectos éticos da nanotecnologia produzidos por ano.



O tema sobre ética e nanotecnologia interessou a autores de formações muito diversas, sendo que as áreas que mais se destacaram foram Filosofia, Bioética/Ética médica/Ética da

ciência, Ciências Sociais e Direito. O Quadro 3 traz as áreas de conhecimento que contribuíram com a produção científica analisada.

Quadro 3. Área de conhecimento do artigo/ autor

Áreas	Número de artigos
Filosofia	27
Bioética/Ética	18
Ciências sociais	16
Direito	11
Física	3
Ciências da Saúde	3
Química	3
Engenharia	3
Educação científica/Comunicação científica	3
Psicologia social	2
Ecologia	2
Teologia	2
Literatura	1
Medicina Veterinária	1
Biologia	1
Administração tecnológica	1
História da ciência	1
Geografia	1
Ciências políticas	1
Ciência da computação	1
	total
	101

Esta distribuição se deu de forma diversa na literatura bioética e médica. Enquanto nas fontes de dados sobre bioética houve uma forte expressão de textos filosóficos e das ciências sociais, na literatura médica a contribuição mais significativa do ponto de vista quantitativo veio da Bioética/Ética, área que incluía textos de ética médica e ética da ciência. Os Quadros 4 e 5 ilustram melhor estas diferenças.

Quadro 4. Área de conhecimento do artigo/ autor na literatura bioética

Áreas	artigos
Filosofia	25
Ciências sociais	16
Bioética/Ética	12
Direito	11
Educação/Comunicação científica	3
Física	3
Teologia	2
Psicologia social	2
Ciência da computação	1
Ciências políticas	1
Engenharia	1
Geografia	1
História da ciência	1
Química	1
Biologia	1
Ciências da Saúde	1
Ecologia	1
literatura	1
	total
	84

Quadro 5. Área de conhecimento do artigo/ autor na literatura médica

Áreas	artigos
Bioética/Ética	13
Filosofia	9
Direito	6
Engenharia	3
Ciências da Saúde	2
Química	2
Ciências sociais	2
Ecologia	2
Física	1
Teologia	1
Medicina Veterinária	1
Educação Científica/Comunicação científica	1
Gestão tecnológica	1
	total
	44

Estes autores, apesar de terem formações bastante diversas, escreveram em um conjunto limitado de periódicos. Os 101 artigos estavam distribuídos em 35 periódicos que enfocam principalmente 6 temáticas: Saúde, Saúde e sociedade, Ética aplicada, Estudos sobre

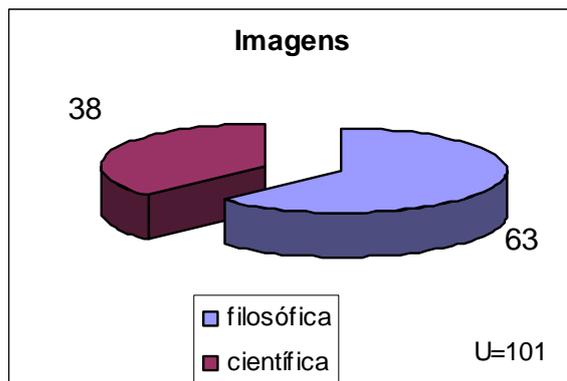
ciência e tecnologia (CTS), Filosofia, e Informática e Alta Tecnologia. O Quadro número 6 apresenta os periódicos científicos em que foram publicados os artigos.

Quadro 6. Periódicos e artigos publicados

Revistas	Artigos
NanoEthics	18
Health Law Review	15
Journal of Law, Medicine and Ethics	11
Science as Culture	7
International Journal of Applied Philosophy	6
The journal of medicine and Philosophy	6
Science and Engineering Ethics	5
Annals of the New York Academy of Sciences	4
Embo Reports	2
The New Atlantis Journal of science and technology	2
Contemporary clinical trials	1
Hastings Center Report	1
Surgical Endoscopy	1
The Medical Clinics of North America	1
Veterinary Research Communications	1
Cambridge Quarterly of Healthcare ethics	1
Environmental Health Perspectives	1
Law and the Human Genome Review	1
Literature and medicine	1
Medicine and Law: The World Association for Medical Law	1
Medicine, Health Care and Philosophy	1
Plant Physiology	1
National Catholic Bioethics Quarterly	1
The American Journal of Bioethics	1
Columbia Science and Technology Law Review	1
Issues in science and technology	1
Public Understanding of Science	1
Human studies	1
The journal of philosophy, science and law	1
Nanotechnology	1
New Scientist	1
Santa Clara Computer and High Technology Law Journal	1
Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties	1
TRENDS in Biotechnology	1
Wired	1

Os artigos foram escritos predominantemente a partir de uma *imagem filosófica* da nanociência e nanotecnologia, muito embora a *imagem científica* seja o ponto de partida de muitas das reflexões encontradas. A figura 2 revela a proporção entre estas perspectivas diferentes da ciência.

Figura 2. Imagens de ciência que permeiam a reflexão dos artigos



No entanto, as fontes de dados sobre bioética e sobre ciências biomédicas não apresentaram a mesma proporção entre as duas imagens de ciência. Enquanto nas primeiras a *imagem filosófica* foi predominante, nestas houve uma distribuição mais equânime entre as *imagens*. As figuras 3 e 4 ilustram estas diferenças.

Figura 3. Literatura Bioética: Imagens de ciência que permeiam a reflexão dos artigos

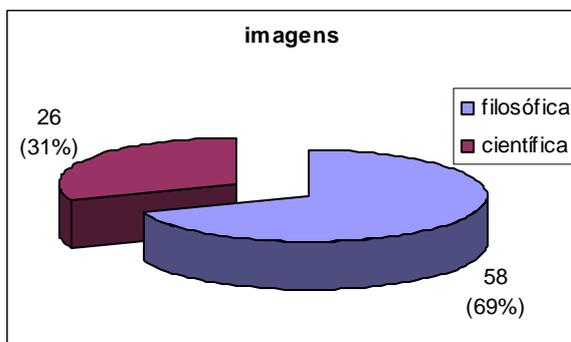
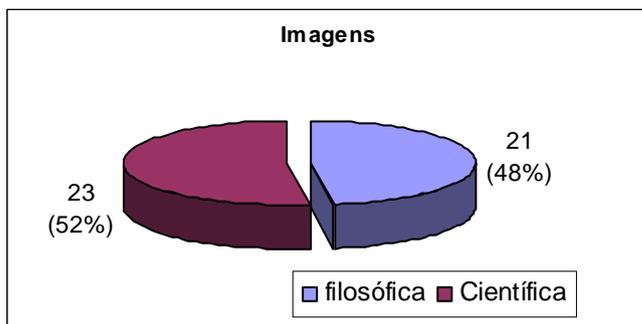


Figura 4. Literatura Médica: Imagens de ciência que permeiam a reflexão dos artigos



Foi calculada ainda a média dos fatores de impacto dos periódicos em que foram publicados os artigos. A média total dos fatores de impacto foi 0,646. Ao excluir do cálculo as revistas que não possuíam fator de impacto, a média foi de 2,107. Pelo tema das bases de dados, a média dos fatores de impacto para a literatura bioética foi de 0,228 e da literatura médica foi de 1,281. Excluindo as revistas que não possuíam fator de impacto, as médias foram respectivamente de 0,960 e 2,349.

A respeito das possíveis implicações éticas da nanotecnologia, a literatura do tema como um todo adota uma linha prospectiva de narrativa. Os autores listam os temas que consideram possivelmente importantes sem, contudo, comprovar suas expectativas, sejam elas positivas ou negativas. Nenhum dos artigos apresenta uma tentativa de listar de forma exaustiva quais seriam as implicações éticas. As abordagens, em geral, partem de agrupamentos e classificações. Durante esta categorização, os autores tendem a identificar temas diretamente relacionados às aplicações tecnológicas e outros temas relacionados a discussões sociológicas ou filosóficas.

Os principais tópicos abordados pelos artigos foram:

- Risco à saúde/ aspectos toxicológicos;
- Riscos ambientais;

- Controle das tecnologias e automação de dispositivos;
- Ética em pesquisa;
- Diagnóstico sem tratamento;
- Melhoramento genético e eugenia;
- Privacidade;
- Individualidade;
- Autonomia e informação;
- Impactos econômicos;
- Equidade e justiça;
- Propriedade intelectual e acessibilidade do conhecimento;
- Regulação das tecnologias e Participação pública;
- Concepção de ser humano e identidade;
- Fronteiras entre natural e artificial;
- Recursos e Políticas de ciência e tecnologia;
- Segurança nacional e aspectos bélicos.

Destes temas, os mais comumente abordados são aqueles relacionados à avaliação de riscos, como a segurança, toxicidade e impacto ambiental e, secundariamente, a concepção de ser humano e da fronteira natural/artificial.

As abordagens éticas principais são a avaliação de riscos e a precaução, enfoques consequencialistas e métodos interpretativos de análise ética, como análise do discurso, narrativa, visões, etc.

As literaturas médica e bioética não divergiram fundamentalmente quanto aos possíveis problemas éticos da nanotecnologia. No entanto, os artigos científicos na

literatura bioética foram mais específicos, enquanto a literatura médica, principalmente nos artigos que não eram comuns à literatura bioética, tendia a abordagens mais gerais sobre biotecnologias como um todo.

A principal diferença entre as reflexões encontradas nos artigos devia-se primariamente à imagem da Nanociência e nanotecnologia que permeava a discussão e, secundariamente, à literatura a que pertencia.

A *imagem científica* esteve relacionada a uma preocupação ética centrada nos riscos à saúde e ao meio ambiente. A análise embasava-se principalmente na avaliação de riscos e no princípio da precaução.

A *imagem filosófica* apresentou um enfoque em questões sociais e filosóficas, como a privacidade e a concepção de ser humano e de naturalidade. Em geral, apresentava a ética interpretativa como abordagem ou, ao menos, recursos de contextualização, de forma que a análise de riscos não era colocada apenas pelo cálculo de prejuízos e probabilidades.

Por esta distinção de abordagens e preocupações foi identificada uma associação entre o tipo de imagem de ciência e as implicações éticas priorizadas nas discussões. Assim, a *imagem científica* concentrou-se nas implicações éticas *autógenas*, que surgem e, de certa forma, se resolvem internamente à mesma imagem de ciência. De uma forma geral, as implicações na saúde e no ambiente são pensadas e resolvidas pelas práticas científicas conforme vistas pela *imagem científica*.

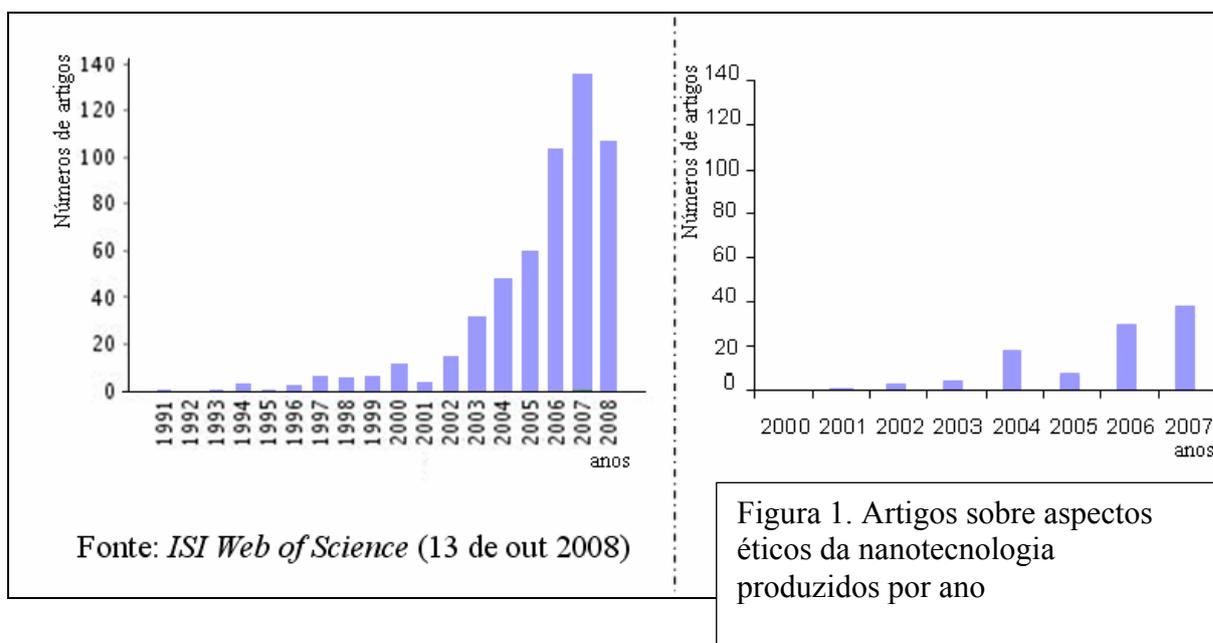
A partir da *imagem filosófica* da nanotecnologia e de suas práticas científicas, os artigos abordam as implicações éticas *heterógenas*, em que, ainda que sejam os dispositivos tecnológicos que suscitem discussões éticas, estas não são objetivo da reflexão científica ou não podem ser por ela resolvidas. Foram identificados dilemas quanto à privacidade e à concepção de ser humano, que podem ser colocados em

discussão devido aos dispositivos nanotecnológicos, mas que não são esgotados com o instrumental teórico dos cientistas que desenvolveram tais dispositivos.

6. DISCUSSÃO - REFLEXOS DE IMAGENS: IMPLICAÇÕES ÉTICAS AUTÓGENAS E HETERÓGENAS

Inicialmente, o que se apreende deste estudo é que a discussão sobre as implicações éticas da nanotecnologia é ainda muito incipiente. Embora haja uma produção crescente sobre o tema, os 101 artigos abordando os aspectos éticos e sociais não chegam a representar 20% do número de artigos que se referem especificamente aos aspectos e aplicações biomédicas das nanotecnologias. Este hiato entre as pesquisas tecnocientíficas e as reflexões éticas é uma observação bastante freqüente na literatura (Mnyusiwalla, Daar & Singer, 2003; Schummer, 2007) e pode ser melhor observada ao comparar a figura 5 e a figura 1 disposta lateralmente na mesma escala.

Figura 5. Artigos publicados sobre nanotecnologia nas subáreas de ciências da saúde por ano. (Em comparação à imagem do Gráfico 1 em mesma escala).



Ainda que não seja objetivo do estudo uma análise detalhada dos artigos excluídos, observou-se que o motivo da exclusão para a base Pubmed e a para a ETHXweb foram diferentes. Por um lado, a Pubmed incluía no sistema de descritores artigos mais genéricos, discutindo a aplicação de tecnologias de forma muito ampla, tendo, portanto, pouco a agregar em especificidade. A ETHXweb fez uma seleção muito mais vasta, mas pouco criteriosa do ponto de vista formal, incluindo editoriais e resenhas, por exemplo, que por vezes careciam de uma discussão mais detalhada. Neste sentido, a exclusão oferece um dado à pesquisa: enquanto houve uma maior quantidade de textos compilados pela ETHX e maior tolerância a outros lugares de fala que não a estrutura rígida do artigo científico, a comunicação na Pubmed se fez principalmente a partir do discurso científico em sua linguagem mais formal, ainda que a discussão não trouxesse contribuições específicas ao tema.

Esses dados relacionam-se ao fato de que as ciências biomédicas, importantes expoentes do paradigma científicista, se caracterizam por valorizar os aspectos formais da pesquisa e da literatura científica, tanto na adequação ao estilo de artigo científico quanto na criação e manutenção de bases de dados específicas. Estas características remetem a imposição da ciência como um conhecimento sistemático e sistematizado, o que a diferenciaria do senso comum (Santos, 1988).

Pode-se observar uma coincidência entre os resultados apontados pelas fontes de dados – mais da metade dos 44 artigos da Pubmed eram comuns à base ETHX. Isto se deve ao fato que a base de dados da *Kennedy Institute of Ethics* recebeu já em 1985 subvenções para sediar o centro de referência em literatura sobre o tema por parte da *National Library of Medicine* e em 2001 teve suas referências incorporadas pela base de dados Pubmed (Arcaute & Busquets, 2007).

Esta aproximação com as ciências biomédicas não ocorre somente neste exemplo. Também a base de dados BIOÉTICA é mantida pela BIREME e até mesmo as revistas

brasileiras tem relação com instituições médicas, como o Conselho Federal de Medicina (CFM). Esta convergência é parte de uma tendência de forte raiz estadunidense e que vem recebendo críticas tanto por parte dos teóricos europeus quanto por parte dos teóricos de regiões periféricas como a América Latina. Apesar das críticas, a Bioética ainda permanece bastante centrada, mantida e organizada a partir de um referencial biomédico (Garrafa, 2006a; Sass, 2001).

Esta forte relação com a área biomédica pode ser creditada à bioética de tradição filosófica anglo-saxônica, bastante diversa daquela encontrada na Europa Continental, por exemplo. A bioética hegemônica, que tem berço e maior expressão na tradição anglo-saxônica, tem um apelo fortemente prático e clínico, já que nasce no mesmo contexto da revolução biológica que culmina com as biotecnologias atuais. Por outro lado, a tradição europeia tende a compreender a bioética como uma nova disciplina filosófica de dimensão transdisciplinar (Neves, 1996).

Ainda segundo Neves (1996), esta diferença é evidente na massiva presença de profissionais de saúde nos comitês e conselhos de ética, que no contexto europeu reduz-se a consultorias técnicas. Desta "tecnificação" da bioética decorre uma ponderação consequencialista e situacionista que corrobora para o desenvolvimento de uma normativa de ação que, por meio de um conjunto de regras que buscam conduzir a uma boa ação, caracterizam uma moral. A reflexão bioética de tradição filosófica europeia, por sua vez, persegue o fundamento do agir humano, dos princípios que determinam a moralidade da ação, constituindo-se numa ética.

No entanto, a proximidade da bioética com as áreas de saúde não se dá em sentido único. A troca de informações e o cruzamento de referências, como no caso da Ethxweb, acabam por proporcionar uma importante contribuição de outras disciplinas para a discussão biomédica.

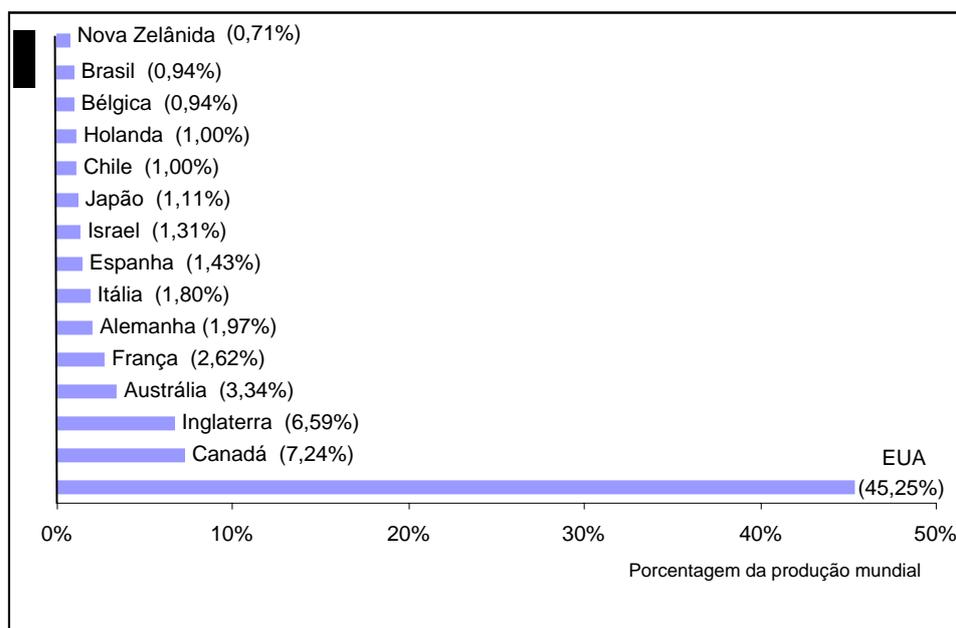
Muito embora a característica hegemônica da bioética anglo-saxônica seja alvo de diversas críticas, principalmente quanto à universalização de seus princípios (Garrafa, 2006a), a tutela biomédica traz uma contribuição importante do ponto de vista da sistematização e do alcance de sua divulgação científica.

Em âmbito internacional, onde este intercâmbio se faz sentir fortemente, as bases de dados se apresentam não somente organizadas, mas com um repositório mais abrangente. Já em âmbito nacional e da América Latina, a busca revelou uma pesquisa ainda incipiente e não sistematicamente catalogada sobre bioética como um todo, e sobre “ética e nanotecnologia” especificamente.

A bioética latino-americana e brasileira tem uma história bastante recente. Os primeiros indícios surgiram com as críticas à bioética hegemônica de fundamentação principialista. Foram questionados seu dedutivismo abstrato e seu fundamentalismo alheio à diversidade de culturas e valores (Tealdi, 2006). A bioética latino-americana começa a desenvolver-se nos anos 1990, como a proposta de refletir e combater as desigualdades sociais que afligem os países periféricos e que se fazem marcar tanto nas questões cotidianas e persistentes historicamente, quanto no acesso e implicações das conquistas do desenvolvimento científico e tecnológico (Garrafa & Porto, 2003).

Quer seja por seu maior período histórico e por seu apelo prático, quer seja pela afinidade por temáticas biotecnológicas polêmicas, a produção bibliográfica internacional é muito superior em quantidade às produções regional e nacional. Este déficit em relação à produção internacional, principalmente à estadunidense, se faz sentir na produção bibliográfica da bioética como um todo, conforme é mostrado na Figura 6.

Figura 6. Produção mundial sobre bioética



Fonte: *ISI Web of Science* (12 de out 2008)

É muito recorrente a atribuição da forte produção científica em nanotecnologia a uma nova revolução científica. No entanto, esse crescimento exponencial não se faz acompanhar por uma proporcional reflexão ética.

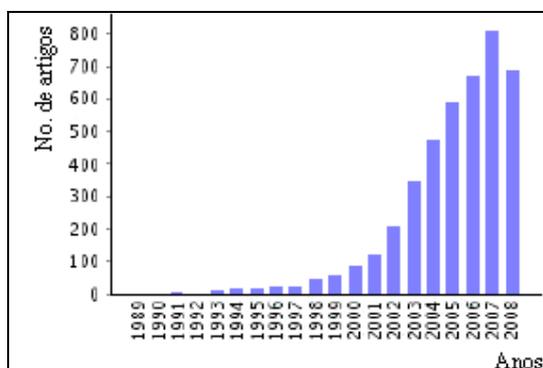
Contudo, ainda que não se possam extrapolar os resultados à totalidade de artigos sobre ética e nanotecnologia, dado que não há base de dados atualizada que compreenda o tema de forma generalizada, o estudo fornece parâmetros para a observação de um crescimento na produção de artigos sobre os aspectos éticos da nanotecnologia.

O total de artigos das fontes de dados variou de nenhum artigo publicado até 2000 a 38 artigos publicados no ano de 2007. A curva, no entanto, não demonstra o mesmo crescimento que a investigação tecnocientífica sobre o tema, conforme demonstrado na comparação entre a figura 5 e a figura 1.

A comparação e o estudo da nanotecnologia a partir do referencial bioético revelam que não somente a nanotecnologia e a bioética são muito próximas quanto à abordagem científica, como também isto se deve ao fato de que ambas nascem da mesma revolução científica promovida pela descoberta da molécula de DNA e pela engenharia genética. Esta revolução prático-cognitiva teve repercussões fundamentais para as *biotecnologias modernas*, instaurando o denominado imperativo tecnológico, segundo o qual tudo o que é possível fazer necessariamente, cedo ou tarde, será feito (Schramm, 1999). Este mesmo paradigma tecnocientífico, que supostamente implicaria no imperativo tecnológico, também instaura a bioética e sua forma de refletir os conflitos, por meio de uma reflexão ética em resposta, que interroga pelo que “devo fazer” frente ao que “posso fazer” (Neves, 1996).

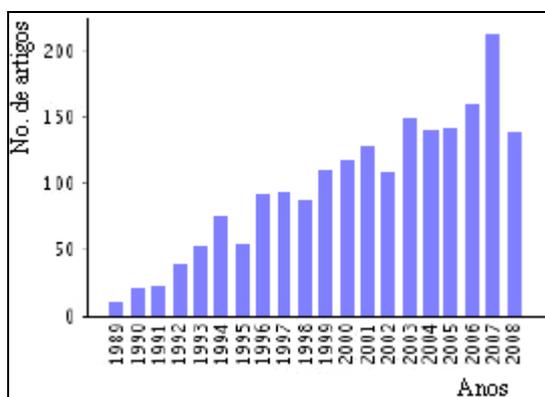
As figuras 7 e 8 ilustram que esta aproximação dos conteúdos é também acompanhada de padrões semelhantes no desenvolvimento da produção científica, representada por uma curva de produção bibliográfica acentuada, bastante evidente no crescimento exponencial da literatura sobre nanotecnologia. Este padrão de produção científica, de crescimento “explosivo”, remete a um novo paradigma científico, ou ao menos uma de suas importantes características (Braun et al., 1997).

Figura 7. Artigos publicados sobre nanotecnologia por ano.



Fonte: *ISI Web of Science* (13 de out 2008)

Figura 8. Artigos publicados sobre bioética por ano.



Fonte: *ISI Web of Science* (13 de out 2008)

Partindo da concepção Kuhniana de paradigma científico, segundo a qual o paradigma vigente origina em sua crise o perfil do próximo paradigma, a nanotecnologia corresponde a um tipo de conhecimento que difere da produção científica cartesiana que busca a especialização.

Este novo paradigma científico, do qual a nanotecnologia é expoente, representa uma ruptura com o modelo científico vigente não apenas em seus métodos, mas na forma como é pensada, administrada e praticada. O modelo atual de ciência acadêmica, que tem suas origens no Séc. XVIII, nas sociedades Européias, principalmente nas universidades francesas e alemãs, passa por um momento de profundas transformações. A ciência pós-acadêmica não nega os objetivos do modelo anterior, ou seja, a produção de conhecimento de acordo com normas epistêmicas, leis científicas e valores. No entanto, difere do modelo antecedente em pelo menos três maneiras: na forma como o conhecimento é produzido (com ênfase na transdisciplinaridade); na forma como o conhecimento é avaliado por seu potencial econômico; e na grande ênfase na utilidade, ou seja, o conhecimento é produzido já com finalidades tecnológicas (Jotterand, 2005).

Portanto, a recorrente fala de que a nanotecnologia é uma revolução não se dá sem motivos. Sua natureza revolucionária vai além do uso comum para expressar uma grande e importante novidade, como é recorrente na *nanohype*, a nanotecnologia apresenta não somente as características das revoluções científicas, com suas rupturas epistêmicas. A revolução científica introduz novas normas e estruturas do conhecimento, em suma, novas categorias cognitivas. Mudar a forma como explicamos as categorias traz mudanças na experiência do mundo.

Um bom exemplo é a profunda transformação na concepção de sociedade e parentesco que o estudo da herança genética introduziu, mudando a forma de experimentar estas relações familiares e explicar características da personalidade.

A nanotecnologia, no entanto, representa mais do que uma revolução científica, talvez seja mais uma revolução tecnocientífica, pois seu principal objetivo não é conhecer melhor as propriedades da matéria, mas manipulá-la e transformá-la.

Neste sentido, de forma revolucionária, nem o conceito de ciência, tampouco o conceito de tecnologia descrevem perfeitamente o saber-fazer da nanotecnologia. Desta forma, para Nordmann (2004), a nanociência, portanto, não é estruturada a partir de um tema, mas direcionada a um lugar. Não tem por objetivo representações da natureza, máquinas, ou substâncias com novas propriedades. As categorias verificação/falsificação e confirmação/refutação não lhe cabem como padrões epistêmicos, entretanto, seu sucesso epistêmico também não é medido em termos de funcionalidade dos dispositivos ou utilidade das substâncias. Ao contrário, a nanociência é uma tentativa exploratória de se apropriar de um território inóspito e habitar um novo mundo ou uma região até agora inexplorada do mundo. O sucesso epistêmico torna-se a partir deste momento uma realização técnica, a habilidade de agir em nanoescala, de ver, de se mover e mover coisas, gravar o nome em uma molécula. Isto significa que a nanociência não é “ciência” própria ou tradicionalmente

falando, e que não há distinção entre a representação teórica e a intervenção técnica, entre entender a natureza e transformá-la. Assim seria mais apropriado, de agora em diante, falar de *nanotecnociência*.

Este contexto particular de uma revolução tecnocientífica não determina apenas o desenvolvimento científico e tecnológico da nanotecnologia, mas interfere na elaboração de reflexões morais a respeito das implicações sociais e éticas da nanotecnologia. A revolução tecnocientífica representada pela nanotecnociência constitui um movimento científico pós-acadêmico mais amplo, em que ciência, tecnologia, política e economia convergem para propósitos sociais e públicos. Estas relações possibilitam que dentro do contexto da ciência pós-acadêmica haja um espaço maior para a integração entre as reflexões éticas e filosóficas e a prática científica, devido à sua natureza transdisciplinar e à maior presença de pressões políticas e sociais sobre o processo de produção de conhecimento científico (Jotterand, 2005).

A bioética, por sua vez, nasceu em resposta a movimentos científicos em um determinado momento histórico, como uma dessas pressões sobre a produção do conhecimento, mas, ao mesmo tempo, produzindo um conhecimento também próprio. A bioética surge com a revolução biológica e sua profunda ruptura antropológica, epistêmica e tecnológica. Constitui uma das maneiras em que o homem tecnológico olha e reflete sobre si, um combate à impotência da humanidade diante de seu próprio poder. Uma ação transdisciplinar que busca acompanhar e refletir a rápida e crescente capacidade de transformação dos avanços científicos e tecnológicos (Garrafa, 2003).

Esta proximidade entre a nanotecnologia e a bioética revela ainda mais evidências no caráter fundamentalmente multidisciplinar de ambos os campos de conhecimento. É lugar comum na literatura que a nanotecnologia surge de uma convergência de diversas áreas de saber. Não obstante, existem algumas pesquisas que questionam o caráter interdisciplinar da nanotecnologia, argumentando que a interdisciplinaridade a ela creditada não passa de uma

grande quantidade de áreas que produzem isoladamente sobre o tema (Schummer, 2004a). De qualquer forma, assim como no caso da bioética, a nanotecnologia corresponde a uma área de conhecimento construída por contribuições de diversos saberes e implica em práticas próprias que não pertencem exclusivamente a nenhum deles.

A produção até o momento não permite afirmar que de fato o conhecimento é interdisciplinar. No entanto, é realmente notável a quantidade de áreas diversas a que os artigos remetem, o que sugere que a discussão ética presente tem caráter, ao menos, multidisciplinar.

Esta distribuição entre as áreas se deu de forma um pouco diversa na literatura bioética e na literatura médica. Enquanto na literatura bioética houve uma forte expressão de textos filosóficos e das ciências sociais, na literatura médica as áreas mais presentes foram a bioética/ética, que incluía textos de ética médica e ética da ciência. Este resultado, à primeira vista inusitado, em que a área de bioética tem menor representação na literatura bioética do que na literatura médica, provavelmente conta com um perfil diverso dos autores. Aliando-se o fato de que na literatura médica houve pouca expressão dos artigos referentes à área de ciências da saúde, infere-se que ao escrever sobre os objetos temáticos de estudo da bioética, como as situações de fronteira da biotecnologia, os autores provenientes da área das Ciências da Saúde possuem algum vínculo profissional ou algum tipo de especialização na área de bioética, enquanto os autores de formação em Filosofia permanecem com a referência de sua área de origem. Estes resultados podem ser observados em detalhe nos quadros 4 e 5.

Os dados anteriores explicitam uma tendência na diversificação do cenário das preocupações éticas. Não somente os cientistas sociais e filósofos refletem sobre a prática científica dentro de seu contexto social, mas os cientistas passam a questionar suas próprias práticas.

Esta tendência engloba movimentos científicos pautados na relatividade, na complexidade e na transdisciplinaridade e refletem um fenômeno maior que se refere a um questionamento do controle e previsibilidade científicas, marcando a queda do paradigma anterior. No entanto, nesta crise surge o perfil do próximo paradigma. Assim, estes movimentos científicos assim como outras condições teóricas para a crise do paradigma vigente propiciam uma profunda, rica e diversificada reflexão epistemológica e ética sobre o conhecimento científico. Esta reflexão, agora não apenas realizada no âmbito da filosofia e das ciências sociais, revela como nunca um interesse dos cientistas de problematizar sua própria prática. Estes indícios apontam para a emergência de um paradigma científico que entende as leis como provisórias e limitadas, colocando em cheque o caráter previsível e reproduzível da ciência (Santos, 1988).

Portanto, uma revolução tecnocientífica implicaria em uma forma também nova de problematizar e lidar com os seus aspectos éticos. Neste sentido, delinea-se a nanoética. Esta seria uma nova disciplina científica dedicada a refletir os aspectos sociais, morais e de uma forma ampla as conseqüências da nanotecnologia para a humanidade (Keiper, 2007).

Se a nanotecnologia enquanto disciplina acadêmica desperta discussões sobre seu objeto de estudo e sobre a viabilidade de algumas projeções, a nanoética tem uma recepção ainda menos amistosa. Esta polêmica não se deve apenas aos problemas que enfrentaria, mas também à sua real necessidade e pertinência.

A partir de uma *imagem científica* extremada da nanotecnociência, Litton (2007) critica toda esta movimentação em direção à criação de subdisciplinas da ética aplicada, como a neuroética, gen(-)ética e agora a nanoética. Afirma que não há necessidade de uma nanoética e que apesar de a nanotecnociência ter o potencial de levantar problemas, não carece de uma nova ética. O necessário, segundo ele, não é o investimento em pesquisa ética, já que outras tecnologias levantaram anteriormente os mesmos problemas, como questões

sobre a privacidade e a natureza do ser humano. Ao contrário, a nanotecnociência demanda investimento em métodos de investigação científica, como toxicologia e estudos de impacto.

Há para a perspectiva apressada, encontrada acima, contextos semelhantes aos que propiciaram o momento em que se desenvolveu a bioética. Entre os anos 1960 e 1970, a ciência passou a impor desafios éticos antes desconhecidos e provocar discussões semelhantes às despertadas pelas ciências da convergência, como a nanotecnologia. No entanto, o fluxo das questões é oposto. Naquele momento, as questões feitas pelos cientistas eram grandiosas, sobre o futuro da humanidade. Agora, as discussões sobre a nanotecnologia, para serem levadas a sério são minimizadas, recortadas de tal forma a buscar temáticas já conhecidas. Esta abordagem, em geral, conclui que tudo já foi estudado e que não há nada de novo do ponto de vista ético na nanotecnologia (Kushf, 2007).

A nanotecnologia desperta tanta atenção do ponto de vista ético porque altera os limites das capacidades humanas. De certa forma, esta é a finalidade de todas as tecnologias, mas a nanotecnologia proporciona uma vantagem excepcional. Como a genética, a nanotecnologia possibilita o melhoramento das condições humanas, não a partir de reconfigurações em condições externas tão passíveis de erros, mas a partir de dentro, da reestruturação da informação, das moléculas que a constituem. Diante desta suposta capacidade, que ainda não passa de uma possibilidade, as discussões éticas têm se resumido a exercícios especulativos. Talvez seja aí que residam as principais e mais justas críticas à nanoética (Nordmann, 2007).

Ainda que a nanoética receba severas críticas quanto à autonomia disciplinar, ainda que não estude problemas novos, não sendo, portanto, esta a justificativa de sua existência, mesmo assim, do ponto de vista pragmático, haveria a possibilidade de justificar a necessidade de uma área de conhecimento que se dedique a estes problemas. Embora talvez não seja necessária uma disciplina autônoma que se dedique exclusivamente ao tema, as

implicações éticas, mesmo que não sejam novas, necessitam ser atentamente analisadas dentro do novo contexto em que se encontram (Allhoff, 2007).

A freqüente comparação entre a bioética e a nanoética é bastante propositada, devido tanto às características dos movimentos científicos, quanto ao conteúdo de seus repertórios, isto é, a seus questionamentos. Neste sentido, a nanotecnologia não demanda uma ética genuinamente nova, mas diferente e renovada em relação ao repertório repetido das anteriores abordagens. Assim, antes de precipitar-se em dizer que estas perguntas foram feitas e, portanto, não há nada de novo na nanotecnologia, vale lembrar, ao menos, que se as perguntas são as mesmas, é porque elas ainda não foram respondidas. Portanto, é válido recorrer aos mesmos questionamentos, caso eles ajudem a elucidar o fenômeno (Kushf, 2007).

Assim, são dispensáveis as mesmas respostas, os mesmos métodos que não ilustravam completamente o fenômeno analisado, mas não a preocupação ética, em si. Conforme sugerido anteriormente, o desenvolvimento das nanotecnologias coloca em dúvida se avaliações de risco e outras análises mais usadas atualmente bastarão para a avaliação das nanotecnologias. Embora abordagens tradicionais da ética possam ser apropriadas para alguns temas, a nanotecnociência oferece implicações sociais e éticas de tamanha magnitude que se torna necessário o desenvolvimento de abordagens alternativas que proporcionem condições para o desenvolvimento das nanotecnologias (Meaney, 2006).

Assim, quer parta da perspectiva da nanoética quer proceda de outras disciplinas, a discussão sobre as implicações éticas da nanotecnologia revela que os questionamentos não surgem somente no interior das ciências sociais, os cientistas começam a questionar suas próprias práticas.

Apesar de apresentar este interesse inicial em refletir sobre seu exercício, as ciências naturais, quando se questionam sobre seu saber-fazer, não falam do mesmo lugar que as ciências sociais quando as observam. Este lugar diverso se deve principalmente a dois fatores.

Inicialmente, podemos creditá-lo a uma sensibilidade mais apurada aos impactos tecnológicos por parte dos cientistas, despertada por eventos após a II Guerra Mundial. Esta sensibilidade está principalmente voltada para a noção de impacto, como uma relação de causalidade, ou, ao menos, como uma relação direta com o uso dos dispositivos, concentrando suas preocupações em questões ambientais e em saúde. Outro fator que difere as falas é a divulgação alcançada pelos artigos das ciências naturais e das ciências sociais e humanidades.

Quanto ao primeiro fator, referente ao tipo de imagem de ciência a partir da qual se constrói a abordagem, o presente estudo revelou que apesar de haver um interesse crescente dos cientistas nas implicações éticas e sociais da nanotecnologia, a reflexão sobre estes aspectos ainda é feita predominantemente a partir de um ponto de vista externo à ciência, de uma *imagem filosófica* da ciência.

O segundo fator que diferencia a literatura bioética da literatura biomédica refere-se à divulgação alcançada por esta literatura, pelo alcance e importância relativa que estes manuscritos adquirem.

Garfield foi o primeiro a desenvolver um mecanismo que buscava classificar os jornais e autores de acordo com a quantidade de citações que os artigos obtinham. Posteriormente, houve um aprimoramento destes cálculos, culminando no *Journal Impact factor* (JIF). Este é um dos indicadores cientométricos mais usados (Garfield, 2006).

A cientometria tem como objetivo a avaliação da produção científica de periódicos, autores, universidades e institutos por meio de medidas e indicadores. Esta análise tem duas finalidades principais: fornecer parâmetros para avaliar a qualidade das pesquisas e a confiabilidade dos dados e permitir ordenar critérios para financiamento de projetos (Van Raan, 1997).

O JIF tem recebido bastantes críticas atualmente, por delegar a artifícios técnicos a avaliação de qualidade dos artigos, além de sua capacidade questionável de avaliar artigos ou

autores individualmente devido a fatores estatísticos. Adicionalmente, a comparação de fatores de impacto entre áreas diversas é bastante limitado (Seglen, 1997).

No entanto, ainda é o mais importante meio que se tem na atualidade para comparar os jornais científicos entre si:

Impact Factor is not a perfect tool to measure the quality of articles but there is nothing better and it has the advantage of already being in existence and is, therefore, a good technique for scientific evaluation. Experience has shown that in each specialty the best journals are those in which it is most difficult to have an article accepted, and these are the journals that have a high impact factor. Most of these journals existed long before the impact factor was devised. The use of impact factor as a measure of quality is widespread because it fits well with the opinion we have in each field of the best journals in our specialty (Hoeffel, 1998, 1225).

(Tradução: O Fator de Impacto não é um instrumento perfeito para aferir a qualidade dos artigos, mas não há nada melhor, e tem a vantagem de já estar em prática e ser uma boa técnica de avaliação científica. A experiência tem mostrado que em cada área os melhores periódicos são aqueles em que é maior a dificuldade de ter um artigo aceito, e são estes os jornais que têm o maior fator de impacto. A maior parte destes jornais já existia muito antes do fator de impacto ser desenvolvido. O uso do fator de impacto como um indicador de qualidade é tão difundido porque coincide com a opinião que temos em cada área sobre quais são os melhores periódicos em nossa especialidade).

O fator de impacto consiste em uma razão entre o número de citações no ano corrente dos itens publicados no periódico nos últimos dois anos, e o número de artigos publicados por este mesmo periódico nos últimos dois anos. O indicador só é calculado após o término do ano em questão. Assim, para o cálculo do fator de impacto de 2008 de um periódico seriam levados em conta:

A= O número de vezes que os itens do jornal publicados em 2006 e 2007 foram citados no ano de 2008;

B= O número de artigos publicados no ano de 2006 e 2007.

O Fator de impacto é igual à razão A/B (Garfield, 1999).

A partir da fórmula para o cálculo do indicador, infere-se seu propósito. O fator de impacto tem por objetivo mensurar a influência que os conceitos e conteúdos publicados em um dado periódico exercem sobre a produção científica e, especificamente, sobre a reflexão ética sobre o tema. Desta forma, apesar das críticas e limitações deste indicador, serve de auxílio à análise da produção científica sobre ética e nanotecnologia.

Quanto maior o fator de impacto, maior é o número de citações que a revista científica recebe em relação ao número de artigos que publica. Uma revista de grande fator de impacto, como a *Nature*, um exemplo forte das ciências naturais com o JIF de 28,751, tem grande influência na comunidade acadêmica, constituindo um referencial teórico muito importante, além de representar qualidade e rigor científico.

Desta forma, o fator de impacto denota uma série de características que revelam o quanto o periódico é acessível e respeitado pela comunidade científica e sua capacidade de influenciar o pensamento científico (Braun et al., 2007).

Assim, muito embora seja a *imagem filosófica* da nanotecnologia a mais freqüente entre os artigos, o fator de impacto mais alto é aquele dos periódicos que tratam de ciências exatas e naturais. A produção científica, muito inicial, baseia-se principalmente em uma *imagem filosófica* da nanotecnologia. No entanto, é a parcela menor, produzida a partir de uma *imagem científica* da nanotecnociência, aquela que possui alcance e impacto para a literatura. Assim, apesar de haver uma base de dados específica e abrangente em bioética, as informações que alcançam o público pesquisador são oferecidas por artigos publicados em revistas de alto impacto e que são predominantemente produzidas a partir de um referencial científico e, neste caso, biomédico da nanotecnologia.

A imagem da qual se parte é importante, pois determina quais são os caminhos utilizados para abordar o problema e a ênfase que se vai dar para as diferentes implicações das nanotecnologias.

Conforme já discutido, uma diferença é que enquanto a *imagem científica* parte para a identificação e enumeração dos problemas, a *imagem filosófica* busca uma maior contextualização histórica e social das nanotecnologias. Conseqüentemente, as nanotecnologias, muito mais contidas no terreno das possibilidades do que da realidade, tem na *imagem científica* um ponto de partida especulativo, enquanto a *imagem filosófica* analisa inclusive quais são os atores envolvidos na discussão ética sobre nanotecnologia.

A *imagem filosófica* permeia discussões como a questão da expressão *implicações éticas* em si. Conceitos como o de implicações e impactos trazem a concepção de que a tecnologia se choca com a sociedade, como um corpo externo, e que este encontro traz conseqüências sobre as quais a sociedade pode refletir e decidir (Swierstra & Rip, 2007).

A partir das críticas a conceitos como o de impacto tecnológico, nasceram movimentos teóricos como a sociologia da técnica, que nos anos 70 atingiu ampla aceitação, acompanhando a emergência das novas tecnologias.

Isto se explica, provavelmente, pelo seu apelo dramático, pelo fato de se constituir numa metáfora forte, tida como capaz de traduzir as incertezas que acompanhavam a emergência, na época, sobretudo da informática. No entanto, a multiplicação de análises sobre os ‘impactos sociais da técnica’ logo conduziu à crítica ao mesmo conceito. Tal crítica desenvolveu-se principalmente nos Estados Unidos e em alguns países europeus (França, Inglaterra, Holanda), tendo como ponto de partida a afirmação de que seu uso sustentava-se num entendimento equivocado da técnica, marcado por um forte viés determinista. No caso, atribuía-se à mesma uma autonomia ou uma externalidade social que ela não possui; erroneamente, supunha-se uma dicotomia na qual de um lado estaria a tecnologia – que provocaria os ditos impactos – e do outro a sociedade – que os sofreria. No entanto, perguntavam esses críticos, por que estabelecer limites entre ambas, se a técnica tem sempre um conteúdo social, do mesmo modo

que a sociedade contemporânea tem um conteúdo essencialmente tecnológico? Quem define a tecnologia que está ‘determinando os impactos’? Quem a controla? Os ‘impactos’ são necessariamente os mesmos em todas as sociedades? Se não, por quê? (Benakouche, 1999, p.1).

Portanto, entender o significado da técnica e seu contexto social é uma tarefa essencialmente política, devido ao seu papel fundamental tanto na tomada de decisões a respeito do seu desenvolvimento, como no planejamento da sua adoção ou uso, seja por indivíduos, unidades familiares ou organizações. A perspectiva do impacto, e também do risco, significa responsabilizar a técnica pelos seus “impactos sociais negativos”, ou mesmo seus “impactos sociais positivos”, o que demonstra um desconhecimento, acima de tudo, do quanto – objetiva e subjetivamente – a técnica é construída por atores sociais, ou seja, no contexto da própria sociedade (Benakouche, 1999).

Da mesma forma, a elaboração moral sobre a técnica também é construída por atores sociais. Fato este bastante presente na discussão a partir da *imagem filosófica* da nanotecnologia.

A atenção dada desde o início ao debate ético sobre a nanotecnologia parece ser resultado de um árduo aprendizado por parte dos cientistas e dos agentes políticos a partir de experiências históricas como os Organismos Geneticamente Modificados (OGM) (Moore, 2002). O aprendizado, também vindo da discussão sobre o Projeto Genoma Humano, parece ter esclarecido que a reflexão ética deve acompanhar e não seguir o desenvolvimento tecnológico. Esta nova configuração convida a participação do público e das ciências sociais e humanas para ajudar a analisar e mediar eventuais conflitos. O cenário é convidativo para parcerias com engenheiros e cientistas, parcerias estas que poderiam trazer benefícios para todos os grupos interessados e para a sociedade (Schummer, 2004b).

No entanto, estas parcerias iniciam-se a partir de configurações de poder e interesses pouco favoráveis. A participação pública tem recebido severas críticas quanto a sua configuração. Esta, tão anunciada já nos primeiros estágios da nanotecnologia, parece não ocorrer efetivamente. Diante de uma informação precária e que não possibilita a tomada de decisão, na maior parte das vezes, a participação pública parte de um desejo dos cientistas de criar entusiasmo na população, de combater o descrédito e a desconfiança em relação à ciência e de promover uma sensação de que a sociedade tem voz para que não sejam dificultadas as pesquisas (Kearnes & Wynne, 2007; Stang & Sheremeta, 2006; Doubleday, 2007).

Atualmente, os pesquisadores das ciências sociais e humanas, ao tentarem trabalhar conjuntamente aos engenheiros e pesquisadores nas implicações éticas e sociais da nanotecnologia, enfrentam dois principais problemas relativos a aspectos teóricos e sociais decorrentes da imaturidade da nanotecnociência. Primeiramente, a ausência de uma definição do campo de estudos da nanotecnologia propicia que em muitas disciplinas científicas os pesquisadores acrescentem o rótulo *nano* aos seus trabalhos, sem que haja algo comum às diferentes atividades ou um trabalho interdisciplinar significativo (Schummer, 2004a).

Esta prática derivada da *nanohype* dificulta o discernimento por parte dos cientistas sociais sobre quais pesquisas devem ser consideradas em seus apontamentos, fazendo com que muitas das informações a que têm acesso venham da mídia e outras formas menos isentas, como as próprias promessas visionárias por parte dos cientistas. Esta abordagem visionária da nanotecnologia constitui o segundo e principal fator de confusão. Não somente a nanotecnologia é colocada em termos visionários; as reflexões éticas também não fogem a este padrão. Assim, uma grande diversidade de atores estrutura as discussões sobre as implicações sociais e éticas da nanotecnologia. Além dos pesquisadores, os agentes políticos, empresários, jornalistas, transumanistas e autores de ficção científica comentam sobre as

implicações éticas da nanotecnologia. Emitindo fortes opiniões sobre as conseqüências da nanotecnologia e sua capacidade de transformar o mundo que conhecemos em cenários utópicos ou distópicos. Este panorama dificulta a discussão por parte das ciências sociais e humanas não só porque suas abordagens geralmente não chegam ao público, mas principalmente porque é difícil competir pela atenção da sociedade com outras visões mais instigantes e que tocam os mais íntimos medos e esperanças humanas (Schummer, 2004b).

Nos últimos 50 anos, principalmente em grandes projetos internacionais, as implicações sociais ganharam bastante importância no panorama científico devido aos custos crescentes das pesquisas. Esta reflexão passa a ser um requisito na elaboração dos projetos científicos, representando uma justificativa e, ao mesmo tempo, uma medida da qualidade dos estudos. No entanto, frente à inexperiência dos cientistas naturais no campo dos estudos sociais, e com o intuito de levantar recursos e obter atenção e prestígio, as implicações sociais são freqüentemente reduzidas a promessas de aplicação tecnológica futura que não podem ser garantidas (Schummer, 2004b).

Referente à literatura estudada, na discussão sobre as implicações éticas e sociais da nanotecnologia, destaca-se a relação entre os autores da área de Bioética/Ética médica/Ética da ciência, Direito e Física e a *imagem científica* da nanotecnologia. Por outro lado, a *imagem filosófica* fundamenta as análises dos autores da área de Filosofia, Ciências Sociais e Bioética/Ética médica/Ética da ciência.

Segundo Schummer (2004 b), no grupo dos cientistas, a partir de uma visão interna à ciência e, portanto, relacionada com o referencial aqui usado da *imagem científica* da nanotecnologia, destacam-se três diferentes significações para as ‘implicações sociais e éticas da nanotecnologia’. Os pesquisadores das Ciências da Computação as associam com mudanças radicais da sociedade, em que tudo se torna possível a partir da programação de um *software*. Os pesquisadores das ciências naturais parecem ter uma posição mais modesta, mas

ainda visionária, sobre revoluções industriais e outras mudanças profundas, como nas práticas biomédicas, que legitimam o seu entendimento sobre nanotecnologia. Para os toxicologistas e ecologistas as implicações éticas e sociais representam riscos para a saúde e para o ambiente.

Na presente pesquisa, apesar de muitos dos autores terem uma *imagem científica* da nanotecnologia, não foi possível afirmar que nenhum deles trabalhava diretamente em pesquisas práticas e laboratoriais sobre o tema.

Muito embora seja freqüente a identificação do atual desconhecimento sobre a nanotecnologia e seus riscos, a *imagem científica* parece redundar em uma perspectiva positiva dos impactos da nanotecnologia. Em um outro estudo, embasado em entrevistas a pesquisadores, muitos dos entrevistados enfatizaram a dificuldade de analisar os riscos devido à falta de pesquisa e conhecimento sobre aspectos importantes sobre as nanomateriais. Eles apontaram dificuldades em prever o comportamento das partículas em determinados ambientes, pouco investimento em análises de risco e incerteza quanto aos atuais métodos de análise de risco das nanopartículas. Descreveram este momento da nanociência como um período de latência entre a introdução das tecnologias e a avaliação dos efeitos adversos (Petersen & Anderson, 2007).

Grande parte dos pesquisadores já trabalha nas atuais linhas de pesquisa há alguns anos, mas recentemente suas pesquisas foram “promovidas” a pesquisas em nanotecnologia. Talvez até por esta razão, mesmo que os pesquisadores identifiquem risco em relação ao uso das nanotecnologias, esses riscos geralmente são subestimados e atribuídos a um mau uso das nanotecnologias e, portanto, relacionados à inalação e à ingestão acidentais, uso em excesso ou uso ineficiente dos materiais. Assim, ainda na ausência de informações suficientes, crêem que os benefícios superarão os riscos associados às nanotecnologias. Esta posição é justificada tanto pela esperança de que o conhecimento suficiente para esta análise chegará em

breve, quanto pela presente preocupação com a poluição, que já parece tão grave que os riscos compensariam (Petersen & Anderson, 2007).

A *imagem científica*, contudo, com sua perspectiva das práticas e métodos científicos, esteve principalmente relacionada à representação feita pelos toxicologistas e ecologistas, ou seja, concentrou-se nos riscos para a saúde e o ambiente, muito embora as outras duas representações anteriores também estivessem presentes de forma menos marcante.

Os cientistas culturais e sociais, segundo Schummer (2004b), incluindo os filósofos, têm uma visão mais elaborada sobre as implicações éticas e sociais da nanotecnologia do que outros grupos que também se enveredam na tarefa de refleti-las, como os próprios cientistas, agentes políticos, autores de ficção científica, público e meios de comunicação em geral. Como pesquisadores, considerando a variedade disciplinar de métodos e objetos, estão interessados nas interações entre nanotecnologia e sociedade mais do que em tomar a nanotecnologia como uma força misteriosa que impacta profundamente na sociedade. Seus estudos percebem os cientistas e pesquisadores que trabalham no desenvolvimento da nanotecnociência como membros da sociedade. As análises estão interessadas nas influências exercidas por tradições cognitivas e instrumentais, valores culturais e crenças, necessidades sociais e conflitos de interesses na estruturação da nanotecnociência. Por outro lado, se dedicam tanto ao estudo de como todos estes fatores interagem com a dinâmica social e quanto à forma como a nanotecnociência estrutura os papéis e redimensiona a relação entre ciência e tecnologia.

A descrição acima corresponde às reflexões embasadas na *imagem filosófica* da nanotecnologia. Na literatura aqui analisada, os autores tinham objetos também diversos, assim como descreviam problemas diferentes. Enquanto na *imagem científica* havia certa solidez na escolha da abordagem da questão dos riscos à saúde e ao ambiente, a *imagem filosófica* permeou discussões e pontos de vista muito diversos. Foram variados os problemas

abordados, como a questão da privacidade, da identidade, da concepção de ser humano, da participação pública, da distribuição de recursos e benefícios e desigualdade sociais. Da mesma forma as respostas a estes dilemas foram também diversos, desde a reflexão a partir da responsabilidade individual, do controle e regulamentação, até artigos que não tinham como objetivo dar resposta alguma, mas somente analisar o fenômeno social e os discursos e narrativas dos atores envolvidos.

Como sugere Kaiser (2006), não é propriamente a dimensão das nanopartículas que importa para os estudos e conseqüentes debates sobre as interações entre tecnologia e sociedade. A análise deve se ater à visão de nanotecnologia que possuem os diversos atores. Interessa a alteração da matéria por meio da técnica, a transformação por intermédio humano e não a dimensão nanométrica em si, visto que é encontrada no ambiente independentemente da interferência do engenho humano. Enfatiza-se, porém, que mesmo da intervenção humana não deriva qualquer valor moral intrínseco. Um composto de carbono não é eticamente melhor do que outro, seja ele nanoestruturado ou não. É nas relações entre os homens, em sociedade, e com o meio que os produtos e seus usos se revelarão mais ou menos adequados.

Desta forma, assim como a nanotecnologia varia de acordo com a perspectiva de sua prática tecnocientífica (entendida como um objeto da prática científica em seus métodos e normas ou como uma tecnologia emergente que reflete toda uma rede de interações humanas e sociais), também as implicações éticas e sociais variam de acordo com a *imagem* que se faz destas práticas. Portanto, o tom, pessimista ou otimista, moderado ou visionário; a importância e até mesmo o tipo de implicações éticas e sociais divergem dependendo de ‘qual nanotecnologia’ se fala.

Algumas das implicações éticas parecem se demonstrar de forma mais precisa, como no exemplo de um composto que é tóxico ou poluente. Outros desafios éticos se tornam nítidos apenas nas complexas interações sociais, como as repercussões na economia mundial

e na desigualdade social resultantes da introdução e apropriação das nanotecnologias pelo mercado.

Atualmente, já são encontrados esforços no sentido de categorizar os problemas éticos relacionados às nanotecnologias. Mnyusiwalla, Daar & Singer (2003) enumeram equidade, privacidade, segurança, meio-ambiente e questões metafísicas relacionadas às interfaces entre homem e máquina como os principais eixos temáticos na discussão ética das nanotecnologias. Lewenstein (2005), por sua vez, identificou os temas ambientais, temas relacionados à mão-de-obra, privacidade, temas políticos nacionais e internacionais, propriedade intelectual e melhoramento humano, como os principais.

Emprestando da literatura a disposição para a classificação e aliando à idéia já proposta de que a abordagem ética da nanotecnologia passa pela imprevisibilidade paradigmática deste fenômeno tecnocientífico, como inferência do estudo, propõe-se aqui uma apreciação esquemática das possíveis questões. Os dilemas resultantes da interação de um novo paradigma científico com as complexas e globais dinâmicas sociais, juntamente à *imagem* da nanociência sobre a qual se sedimenta a perspectiva ética, fundamentam a classificação das implicações da nanotecnologia em duas categorias: autógenas e heterógenas.

6.1. IMPLICAÇÕES ÉTICAS AUTÓGENAS

As nanotecnologias são caracteristicamente tecnologias de melhoramento, ou seja, refinam e aprimoram instrumentos e materiais para outras áreas, assim como muitas das tecnologias de convergência. Alteram compostos e dispositivos já existentes, mas também desenvolvem novos. É este aspecto que mais está relacionado a conseqüências cientificamente observáveis e por vezes de grande proporção.

Se as nanopartículas não são invenções atuais, a capacidade de estruturá-las sistematicamente para a exploração industrial de suas propriedades certamente é nova. Os produtos assim desenvolvidos para fins esportivos, alimentícios, automotivos, cosméticos, de informática e muitos outros começam a ser disponibilizados no mercado. Esta produção em escala industrial é crítica, já que pode acarretar significativos danos ao ambiente, aos trabalhadores e à grande população ávida por insumos tecnológicos (Schulte & Salamanca-Buentello, 2007).

O desconhecimento parcial das propriedades dos materiais é conjugado à defasagem por parte dos organismos nacionais e internacionais de regulação, que levam em conta a composição química dos elementos e não sua conformação. Isto possibilita que um novo composto nanoestruturado chegue ao mercado de medicamentos, por exemplo, sem passar por novos testes de toxicidade, sendo que as reações orgânicas podem ser completamente diversas (Miller, 2003).

A própria análise toxicológica ou imunológica pode estar limitada, já que os padrões de normalidade e anormalidade destes testes visam às reações a partículas macro e microscópicas. Vale lembrar que a própria nanociência surge da constatação de que toda a análise científica se embasa na adequação entre método e interpretação. Se um instrumento adquire alcance para manipular outras escalas, pode revelar novas regras ou interpretar diversamente um padrão conhecido (Shrader-Frechette, 2007).

As implicações éticas autógenas não foram assim denominadas por se entender que são intrínsecas à nanotecnologia, afirmação da qual se poderia apreender erradamente um valor ontológico de suas aplicações tecnológicas. As implicações são consideradas autógenas por se aproximarem a concepção de um efeito causal, por serem referentes principalmente à imagem científica. São implicações concebidas dentro da perspectiva técnica. Resultam da aplicação dos adventos pelo homem, sem que haja necessidade de uma complexa análise da

interferência de outros fatores. São estas as repercussões mais frequentemente visitadas nos debates, por aproximarem-se do modelo predominante de ética da ciência, normalmente restrito à avaliação do impacto dos produtos e dispositivos no ambiente e na saúde. Entretanto, exatamente onde o uso parece apresentar riscos mais suscetíveis à mensuração e análise, é necessário assegurar-se de que a mesma tecnologia que produz é capaz de fornecer instrumentos suficientemente calibrados para avaliar as falhas de sua produção e apontar soluções.

Assim, o discurso sobre a abordagem ética a partir da *imagem científica*, que identifica *implicações autógenas*, tem uma proposta que converge para o uso do princípio da precaução:

From the preceding discussion, it is clear that the current state of understanding of the risks to human health and the environment from nanomaterials is one of almost complete ignorance: there are reasons to think that there could be harmful impacts, but the nature and extent of the hazards and risks are essentially unknown. Nanomaterials therefore present a case for adopting a precautionary approach, as appropriate in situations where there is a lack of scientific certainty. (...) As for conventional chemicals, the objectives of risk management and regulation are to eliminate risks to humans and the environment or at least to reduce them to 'acceptable levels'. Risk results from possible exposure to a hazard. If the hazards associated with exposure and the exposure pathways are unknown for nanoparticles, then risk can only be confined if release is avoided (Clift, 2005, p.6-7).

(TRADUÇÃO: Pela discussão anterior, fica claro que o presente estágio de conhecimento sobre os riscos ambientais e para a saúde humana impostos pelos nanomateriais é o de mais completa ignorância: há razões para pensar que poderá haver impactos negativos, mas a natureza e a extensão dos riscos são essencialmente desconhecidas. Portanto, é o caso de adotar o princípio da precaução na abordagem dos nanomateriais, utilizado em situações onde há falta de certeza científica. (...) Assim como para os produtos químicos convencionais, os objetivos da análise de riscos e da regulação são eliminar os riscos humanos e ambientais ou ao menos reduzi-los a níveis aceitáveis. O risco vem da possibilidade de exposição a uma situação prejudicial. Se os prejuízos associados com a exposição e a maneira que essa

exposição ocorre são desconhecidos para as nanopartículas, então o risco só pode ser delimitado se a liberação é evitada.)

Assim o princípio da precaução é concebido para ser usado se uma ação expõe a um determinado perigo. Esse perigo deve ser plausível segundo o conhecimento científico, ainda que sua probabilidade não possa ser calculada. O remédio a esta ação pode ser diverso, desde parar a pesquisa a diminuir o seu ritmo até o desenvolvimento do conhecimento. O princípio pode ser usado no caso das nanopartículas em que se tentaria fazer análises de risco aprofundadas e talvez desacelerar a produção até que o perigo seja conhecido. No caso da privacidade, deve haver regulação e leis até que as pesquisas sejam desenvolvidas, de forma que elas já estejam estabelecidas antes que as tecnologias invasoras sejam disponíveis (Weckert & Moor, 2006).

No entanto, o princípio da precaução utilizado em relação às nanotecnologias tem recebido severas críticas e, efetivamente, parece não surtir efeitos, ao menos não os esperados. No caso da nanotecnologia e das tecnologias emergentes, em que não somente se desconhece a totalidade de suas repercussões, mas o desconhecido é característica epistêmica, o princípio da precaução não parece oferecer utilidade ou, ao menos, sofre de um discurso circular que não surte efeito gerando um paradoxo e inércia (Holm, 2006; Harris & Holm, 2002).

Diante do desconhecido, a ação ética que o princípio da precaução normatiza é o não agir, até que se obtenha o conhecimento necessário para o julgamento. Este paradoxo é colocado pela natureza da ciência, que é um conhecimento perfectível do mundo e jamais perfeito, o conhecimento pleno para o julgamento não pode ser atingido, ou representa uma informação limitada pelo contexto em que se encontra. É incrementado pela incerteza e imprevisão intrínsecas à nanotecnologia.

Esta análise de riscos é entendida como necessária à ampla comercialização dos produtos e dispositivos e, portanto, deve ser prévia à chegada ao mercado. Esta análise de riscos e a comercialização deveriam ser reguladas por órgãos controladores de qualidade e agências nacionais e internacionais (Cranor, 2003).

As críticas a respeito da análise de riscos assentam-se na necessária imprecisão que tal abordagem traria, já que o conhecimento não é pleno agora e provavelmente nunca será. Estas críticas ainda abordam o tipo de riscos sobre o qual se fala. A percepção de riscos por parte da população em geral é diferente daquela dos cientistas, que por sua vez é diversa da dos cientistas sociais (Lenk & Biller-Andorno, 2007).

Olivé (2006, p.135) aborda esta discussão a partir dos parâmetros teóricos da Bioética:

O que estamos sugerindo é que por razões epistemológicas não há apenas uma maneira correta e universalmente objetiva de identificar e avaliar um risco. Se combinarmos esse resultado epistemológico com a idéia de que as pessoas são racionais e autônomas, e com o fato de que as sociedades democráticas se caracterizam pela convivência de grupos sociais muito diversos, com diferentes visões do mundo e diversos sistemas de valores, então poderemos concluir que tão pouco é possível uma única visão sobre a gestão do risco que seja a única correta e eticamente aceitável. Na identificação e avaliação de riscos podem existir diferentes pontos de vista igualmente legítimos. Insistimos em que não se trata de uma visão relativista que sustenta que qualquer ponto de vista é tão bom quanto qualquer outro. Trata-se antes de uma concepção pluralista que sustenta que não existe apenas um ponto de vista que seja o único correto.

A abordagem ética que, a partir da *imagem científica*, procura identificar *implicações autógenas* e utiliza o princípio da precaução e a análise de risco, demonstra-se assim insuficiente para dar conta da amplitude de questões advindas da nanotecnologia.

6.2. IMPLICAÇÕES ÉTICAS HETERÓGENAS

O termo *heterógena* remete ao fato de que o estudo do dispositivo nanotecnológico e suas implicações é concebido por *imagens* diferentes da ciência. Enquanto os dispositivos são resultado da *imagem científica*, os fenômenos sociais decorrentes de seu emprego decorrem de uma perspectiva “metacientífica” da nanotecnologia, ou seja, a partir da *imagem filosófica*.

As possíveis repercussões do uso da nanotecnologia, aqui tratados, têm suas origens nas interfaces das diversas dimensões culturais, sociais, econômicas, ambientais, políticas desta rede. Heterógenas, porque fundamentalmente resultantes de interações complexas e não da avaliação por parte da mesma ciência, demandam uma avaliação ética que escapa à busca de relações causa-efeito e conseqüentemente a análises lineares de riscos.

Expectativas imediatistas de resolver tecnicamente problemas sociais mais profundos, como a perspectiva de que algumas das principais aplicações da nanotecnologia possam auxiliar as metas de desenvolvimento da ONU, com a produção energética e o aumento da produtividade agrícola (Salamanca-Buentello et al., 2005), levantam aspectos ambientais, políticos, econômicos e de saúde pública que, por implicações mútuas, deflagram uma discussão que se distancia de soluções simples.

Embora algumas *implicações éticas heterógenas*, como o controle social, a propriedade intelectual, a economia do conhecimento, as injustiças sociais, não despertem a atenção da mídia ou exasperem os ânimos como o fazem os cinematográficos *cyborgs* e a prometida panacéia, talvez sejam as implicações mais freqüentemente esquecidas as que retratem as dimensões mais tangíveis e necessárias para a análise ética da nanotecnologia.

Reconhecendo a defectibilidade comum às classificações, as categorias aqui propostas servem ao objetivo de relacionar a possibilidade de avaliar os riscos decorrentes da nanotecnologia e as complexas interdependências estabelecidas socialmente. E apontam para

a dinâmica social como o *locus* onde extenuantes reflexões éticas e debates públicos se fazem mais necessários.

Entre os temas abordados a partir da *imagem filosófica* da nanotecnologia destacam-se a reflexão crítica sobre a nanotecnologia e a *nanohype*, a condição humana, melhoramento humano, a privacidade, a pertinência e o objeto da nanoética, o engajamento e a participação pública, aspectos sociais, aspectos econômicos globais.

A *imagem filosófica* caracteriza a nanotecnologia como um termo que representa projetos muito heterogêneos, que compreende uma variedade de idéias e visões, instituições, disciplinas e atores, em seus contextos. Neste cenário é importante detalhar como os cientistas sociais, filósofos e eticistas estão integrados na dinâmica da nanotecnologia. A função destes atores seria, portanto, desembaraçar essa complexa trama. Permitindo, então, análises mais amplas e menos estereotipadas (Nordmann, 2007).

Há um entendimento bastante difundido que a nanotecnologia representa uma revolução tecnológica que impõe novos desafios ao entendimento tradicional sobre a ciência e a obtenção do conhecimento, dado seu caráter intrinsecamente imprevisível, questionando o papel da busca da verdade por parte da ciência. As novas facetas que a ciência vem adquirindo são fortemente ditadas pela avidez do mercado por tecnologia. Esse processo de transformação da ciência em tecnociência é acompanhado por reconfigurações do poder econômico e conseqüentemente do poder político. Esta politização da ciência e da nanotecnologia especificamente, que representa a convergência da ciência, tecnologia, política e economia para propósitos sociais e governamentais, oferece a possibilidade de uma melhor integração das reflexões éticas e filosóficas com o desenvolvimento científico e tecnológico (Jotterand, 2006).

Esse tipo de análise enfatiza a nanotecnologia como um sistema sociotécnico e os valores culturais infundidos nas tecnologias. Assim, os cientistas sociais e eticistas que se

debruçarem sobre os estudos das nanotecnologias podem influenciar, junto aos demais atores, a conformação da nanotecnologia, em sua matéria e significados. Desta forma, ao entender a nanotecnologia como uma tecnologia emergente, a emergência encontra-se nos sistemas/redes de pessoas e coisas. Enquanto a tecnologia se desenvolve, a distribuição de poder e autoridade estão sendo constituídas, significados estão sendo contestados e solidificados, práticas sociais envolvendo direitos e responsabilidades são estabelecidas. São esses arranjos sociais o objeto a ser examinado pelas lentes da ética, usando a linguagem, conceitos, princípios, normas e teorias éticas (Johnson, 2007).

Na *imagem filosófica*, há uma crítica predominante à chamada *nanohype*, e à discussão dualista e reducionista que esta traz. As visões distópicas e utópicas freqüentemente causam reações extremas e posterior decepção diante do alto nível de expectativa que despertam, ou um rechaço generalizado como no caso dos OGM. Quanto a esta perspectiva paira uma forte sugestão que a participação social se dê de forma real e não apenas como uma forma de evitar a não aceitação pública. A crítica às posições visionárias identifica dois principais alvos: a forte inspiração na ficção científica, inclusive nos relatos dos pesquisadores, e a discussão a partir de expectativas irreais (Williams-Jones, 2004).

São as perspectivas sociais e econômicas globais as mais citadas, mas ao mesmo tempo também as menos aprofundadas, como, por exemplo, a inclusão da questão da água potável entre as dez aplicações que mais impactarão as desigualdades sociais. A nanotecnologia promete constituir-se em uma tecnologia disruptiva, que juntamente às tecnologias de convergência influenciarão profundamente a organização econômica global na sociedade da informação. No entanto, a partir de um olhar histórico, há razões para severas críticas a estas expectativas de solucionar a pobreza mundial a partir de soluções tecnológicas. Como se demonstrou nos estudos e pesquisas sobre HIV/AIDS e Biotecnologias, os países em desenvolvimento partem de condições econômicas desfavorecidas na pesquisa, contudo,

tentam participar da pesquisa de ponta, competindo com laboratórios avançados sobre as últimas inovações, nem sempre concernentes às realidades locais. Com a presença cada vez marcante das grandes indústrias no ramo das biotecnologias e pelas questões de patentes e propriedade intelectual, em geral, os países em desenvolvimento acabam por ser excluídos do acesso social a grandes inovações. Desta forma, mesmo que sejam pensadas soluções a partir das altas tecnologias, talvez não sejam estas as melhores respostas às demandas encontradas nos países em desenvolvimento. Caso seja este o delineamento da nanotecnologia no contexto social global, há mais chances de que contribua para o aumento das disparidades do que para a diminuição delas, incrementando o que se tem chamado de “nanodívida” (Invernizzi & Foladori, 2005).

Embora os aspectos sociais sejam fundamentais no destaque que a nanotecnologia alcançou no debate político, credita-se seu profundo impacto na percepção pública ao que há de mais significativo nas biotecnologias modernas: a possibilidade de alterar o que conhecemos por humano. A nanotecnologia promete ser a realização de todas as pretensões humanas de organizar e controlar o mundo, desde sua menor unidade, de acordo com sua própria conveniência. Contudo, o que é ainda mais significativo é que, aliada a técnicas de engenharia moderna, promete interferir, modificar e modelar qualquer característica humana, orgânica ou da personalidade. Estas propriedades trazem consigo a preocupação com a eugenia, mas ainda de forma mais ampla sobre a concepção de ser humano (Zebrowski, 2006).

As biotecnologias modernas pretendem a alteração de características biológicas e cognitivas. Estas alterações parecem instaurar uma nova fase na história em que as formas tradicionais de autodescrição e artes corporais darão lugar a experiências ainda mais radicais na remodelação dos corpos. Estas mudanças, por vezes chamadas de pós-humanismo ou

transumanismo, podem desencadear conflitos significativos para a mesma sociedade democrática contemporânea que as proporcionou (Abrams, 2004).

Esta ânsia pela mudança dos corpos é uma repercussão da “sociedade de vigilância” na qual vivemos. Recuperando a concepção de Panóptico, Foucault (1980) explica a cultura contemporânea “voyeurística” e sua forte afinidade pela ciência. As pessoas controlam-se e vigiam-se todo o tempo por meio de vídeo-câmeras, da Internet, do olhar atento dos professores, dos profissionais de saúde e do sistema jurídico. Resta sempre a sensação de estar exposto, vigiado. É em resposta a esta perspectiva que é desenvolvida uma ética e uma estética da automodelação e reconfiguração do corpo, por meio de experiências intensas e subversivas que ajudariam a recuperar o espaço de individualidade e privacidade, perdidos na sociedade panóptica.

Nesta busca de se reidentificar, no entanto, fica em risco a própria identidade e individualidade à medida que as nanotecnologias prometem, por um lado, o melhoramento dos corpos e performances incríveis, por outro os mesmos corpos são negados, relegados à última importância, à medida que pretendem nos informatizar, transformando o ser humano em informações imateriais fora das dimensões espaciais e temporais. A nanotecnologia evidencia ou ao menos incrementa a tendência de ver o homem como tecnologia. Não somente por causa de nanoimplantes, mas porque cada vez mais a tendência de entender a nanotecnologia como aquilo que vai controlar o mundo átomo por átomo, influencia a forma como o homem se explica e refere-se a si mesmo como uma nanomáquina, como um conjunto de fábricas moleculares. A semântica e as metáforas vêm das ciências da computação e informática. Assim, a nanotecnologia promete reconfigurar os seres humanos, melhorar a “obra divina”, não como qualquer outra tecnologia anterior, mas a partir de dentro, dos blocos últimos de nossa constituição, os átomos (Grunwald & Julliard, 2007).

Assim, as *implicações heterógenas da nanotecnologia*, originadas nas diversas dimensões culturais, sociais, econômicas, ambientais, políticas, culminam no questionamento radical, no abalo das mais sedimentadas bases da imagem do humano.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação procurou delinear o panorama da produção científica sobre ética e nanotecnologia, com especial ênfase nas suas aplicações biomédicas. Tal panorama revelou uma ainda incipiente produção de artigos científicos em relação à massiva investigação e publicação sobre os aspectos tecnocientíficos deste emergente campo do conhecimento.

Destaca-se a produção internacional em contraposição a uma quase nula produção nacional e mesmo latino-americana. Este descompasso deve-se não somente a uma maior produção internacional, mas também a uma maior organização da produção científica neste âmbito, conforme é percebido na amplitude e atualidade das bases de dados médica e bioética. Esta organização é fundamental para a própria produção, servindo como um propulsor da discussão científica, na medida em que proporciona referenciais e posicionamentos já encontrados na literatura.

Ainda que se encontre este esforço inicial de discussão sobre os aspectos éticos dos avanços tecnocientíficos, estes estão muito aquém da progressão da ciência básica e aplicada. No entanto, o momento atual sugere que fracassos passados, como a rejeição pública dos OGM, podem ser evitados por meio de uma maior discussão sobre os aspectos éticos das pesquisas e das aplicações tecnológicas. A nanotecnologia parece avançar neste sentido desde sua concepção, em que já se encontravam os primórdios do debate, até o presente em que, devido ao seu forte apelo midiático e suas características acadêmicas e econômicas, presenciase uma crescente participação pública e de filósofos e cientistas sociais no debate sobre ética e nanotecnologia.

A autoria de filósofos e cientistas sociais foi predominante, correspondendo à maioria quantitativa dos artigos analisados. No entanto, sua reflexão, mais complexa na descrição dos contextos em que estão inseridas as implicações éticas, não é a que mais impacta no interior da comunidade científica. Os artigos científicos da literatura biomédica são publicados em periódicos de maior circulação e acesso e indexados em bases de dados mais conhecidas e prestigiosas. Assim, embora a maior parte da produção científica derive das ciências sociais e humanas, são as ciências naturais, especialmente as biomédicas, as que mais influência exercem sobre o debate científico em geral.

A literatura biomédica e a literatura bioética sobre o tema, levantadas a partir de bases de dados e periódicos específicos das áreas, não divergiram fundamentalmente quanto a suas concepções das implicações éticas em si. Há, por outro lado, diferenças marcantes entre as imagens que os diversos autores, independentemente da literatura à qual pertencem, fazem da nanotecnociência.

Enquanto cientistas e pesquisadores embasam suas reflexões em uma *imagem científica* da nanotecnociência, filósofos e cientistas sociais contribuem para a formação da *imagem filosófica* da mesma. A *imagem científica*, definida a partir de descrições de objetos e métodos da nanotecnociência, relaciona-se a uma percepção mais limitada das implicações éticas das nanotecnologias. A *imagem filosófica*, por sua vez, corresponde a uma tentativa de localizar a nanotecnociência dentro de contextos sociais, históricos e econômicos mais amplos, relacionando, portanto, as implicações éticas a aspectos antropológicos, sociais e filosóficos não contemplados pela imagem científica.

Desta forma, a *imagem científica* concebe as implicações éticas das nanotecnologias como *autógenas*, ou seja, os materiais e dispositivos e suas implicações éticas são concebidas no interior da mesma *imagem científica*. Esta percepção identificou principalmente a questão

ambiental e da saúde, e as relacionou a propostas eminentemente técnicas, como a análise de riscos guiada pelo princípio da precaução.

As implicações autógenas não contemplam a diversidade de repercussões éticas das nanotecnologias enquanto sistemas sociotécnicos e o enfoque dado à análise de riscos não leva em conta o caráter de desconhecimento e imprevisibilidade epistemicamente intrínsecos à nanotecnociência, nem as diferentes perspectivas que os atores sociais possam ter sobre o risco.

A *imagem filosófica* identificou e abordou implicações heterógenas, procurando entender as nanotecnologias em seus contextos mais amplos. Embora, do ponto de vista da imagem científica, os materiais e dispositivos correspondam a aplicações do conhecimento, os mesmos impõem desafios e reflexões éticas que não se esgotam na ciência que os produziram. Assim a discussão das *implicações heterógenas* aborda as relações da nanotecnologia com a percepção pública, não apenas como uma forma de evitar empecilhos para as pesquisas, mas por contemplar a ciência em seu contexto social, seu caráter disruptivo e suas interações com as dinâmicas sociais e econômicas e as diversidades globais. São as *implicações éticas heterógenas* o grande desafio que a nanotecnologia apresenta ao debate ético: a nanotecnociência, ao anunciar a reestruturação e controle do mundo átomo por átomo, põe em discussão fronteiras sensíveis da condição humana.

REFERÊNCIAS

Abrams JJ. Pragmatism, artificial intelligence, and posthuman bioethics: Shusterman, Rorty, Foucault. *Human Studies* 2004; 27(3): 241-258.

Allhoff F. On the autonomy and justification of nanoethics. *Nanoethics* 2007; 1(3):185–210.

Anderson B, Kearnes M & Doubleday R. Geographies of nano-technoscience. *Area* 2007; 39(2): 139–142.

Arcaute ER & Busquets E. Bibliotecas especializadas en Bioética. *Bioética & Debat* 2007; 50: 29-31.

Benakouche T. Tecnologia é sociedade: contra a noção de impacto tecnológico. *Cadernos de Pesquisa PPGSP* 1999; 17: 1-28.

BIREME / OPAS / OMS (Brasil). Acesso às fontes de informação da Biblioteca Virtual em Saúde. São Paulo : BIREME / OPAS / OMS, Março 2008. 23p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. A iniciativa brasileira em nanociência e nanotecnologia. *Parcerias Estratégicas* 2004; 18: 109-35.

Braun T, Dióspatonyi I, Zsindely S & Zádor E. Gatekeeper Index versus Impact Factor Of science journals. *Scientometrics* 2007; 71(3): 541-543.

Braun T, Schubert A & Zsindely S. Nanoscience and nanotechnology on the balance, *Scientometrics* 1997; 38 (2): 321–325.

Cao G. Nanostructures & nanomaterials: synthesis, properties & applications. London: Imperial College Press, 2006. p.1-14.

Clift R. Nanotechnology: an example of risk management and regulation in an emerging technology. In: OECD. Proceedings: Special Session of the Joint Meeting: Potential

Implications of Manufactured Nanomaterials for Human Health and Environmental Safety; 2005. p.1-10.

Cortina A. El estatuto de la ética aplicada. In:_____.Ética aplicada y democracia radical. Madrid: Tecnos; 1993. p.140-165.

Cranor CF. How should society approach the real and potential risks posed by new technologies? *Plant Physiol.* 2003; 133(1):3-9.

Delgado Ramos GC.Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones Y riesgos de la nanotecnología. México: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en ciencias Y humanidades/ Universidad Nacional Autónoma de México, 2008. p. 89-120.

Doubleday R. The laboratory revisited: academic science and the responsible development of nanotechnology. *NanoEthics* 2007; 1(2): 167-176.

Drexler KE. Nanotechnology: from Feynman to funding. *Bulletin of Science, Technology & Society* 2004; 24(1): 21-27.

Feynman RP. There's plenty of room at the bottom. In Gilbert HD. *Miniaturization*. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1961. pp. 282-296. (también publicado em *Engineering and Science 1960*; 23: 22-36 e disponível em <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>).

Foucault M. *Power/Knowledge: selected interviews and other writings [1972-1977]*, C. Gordon (Ed.). New York: Pantheon Books, 1980. p. 147.

Franklin S. Science as culture, cultures of science. *Annu. Rev. Anthropol.* 1995; 24:163-184.

Freitas Jr RA. What is nanomedicine? *nanomedicine, nanotechnology, biology and medicine* 2005; 1 (1): 2-9.

Garfield E. The history and meaning of the journal impact factor. *Journal of American Medical Association* 2006; 295(1):90-93.

Garfield E. Journal impact factor: a brief review. *CMAJ* 1999; 161(8): 979-980.

Garrafa V. Bioética e manipulação da vida. In: Novaes A (org.). *O Homem máquina: A ciência manipula o corpo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. p.213-225.

Garrafa V & Porto D. Intervention bioethics: a proposal for peripheral countries in a context of power and injustice. *Bioethics* 2003; 17(5-6): 399-416.

Garrafa V. Apresentação: o novo conceito de bioética. In: Garrafa V, Kottow M & Saada A (Orgs). *Bases conceituais da bioética: enfoque latino-americano*. São Paulo: Gaia/Unesco, p.9-15. 2006a.

Garrafa V. Multi-inter-transdisciplinaridade, complexidade e totalidade concreta em Bioética. In: Garrafa V, Kottow M, Saada A (Orgs). *Bases conceituais da bioética: enfoque latino-americano*. São Paulo: Gaia/Unesco, p. 73-85. 2006b.

Grin J & Grunwald A. (eds.) *Vision assessment: shaping technology in 21st Century Society*. Heidelberg: Springer. 2000. 190 pp.

Grunwald A & Julliard Y. Nanotechnology – steps toward understanding human beings as technology? *NanoEthics* 2007; 1(2): 77-87.

Harris J & Holm S. Extending human lifespan and the precautionary paradox. *Journal of Medicine and Philosophy* 2002; 27(3): 355–68.

Hoeffel C. Journal impact factors. *Allergy* 1998; 53(12): 1225.

Holm S. Reply to Sandin: the paradox of precaution is not dispelled by attention to context. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* 2006; 15: 184–187.

Hughes GA. Nanostructure-mediated drug delivery. *Nanomedicine, Nanotechnology, Biology and Medicine* 2005; 1 (1): 22-30.

International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE). Requisitos uniformes para manuscritos apresentados a periódicos biomédicos. *Rev. Saúde Pública* 1999; 33(1): 6-15.

Invernizzi N & Foladori G. Nanotechnology and the developing world: will nanotechnology overcome poverty or widen disparities? *Nanotechnology Law & Business Journal* 2005; 2(3): 101-110.

Invernizzi N. Visions of brazilian scientists on nanosciences and nanotechnologies. *Nanoethics* 2008; 2(2): 133-148.

Johnson DG. Ethics and technology 'in the making': an essay on the challenge of nanoethics. *NanoEthics* 2007; 1(1): 21-30.

Jotterand F. Nanotechnology, bioethics and the techno-scientific revolution: philosophical and ethical assessment of nanotechnology and its applications in medicine [Tese]. Houston: Rice University; 2005. 227 pp.

Jotterand F. The politicization of science and technology: its implications for nanotechnology. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 658-666.

Kaiser M. Drawing the boundaries of nanoscience: rationalizing the concerns? *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 667-674.

Kearnes M, Grove-White R, MacNaghten P, Wilsdon J & Wynne B. From bio to nano: learning lessons from the UK agricultural biotechnology controversy. *Science as Culture* 2006; 15(4): 291-307.

Kearnes M & Wynne B. On nanotechnology and ambivalence: the politics of enthusiasm. *NanoEthics* 2007; 1(2): 131-142.

Keiper A. Nanoethics as a discipline? *New Atlantis Spring* 2007; (16): 55-67.

Keiper A. The nanotechnology revolution. *New Atlantis Summer*; (2): 17-34.

Kostoff RN, Koytcheff RG & Lau CGY. Structure of the nanoscience and nanotechnology applications literature. *J Technol Transfer* 2008; 33: 472-484.

Kottow M. Bioética prescritiva. A falácia naturalista. O conceito de princípios na Bioética. In: Garrafa V, Kottow M & Saada A (Orgs). Bases Conceituais da Bioética, enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia; 2006, p. 25-45.

Kuhn TS. A estrutura das revoluções científicas. 5.ed. São Paulo: Perspectiva. 2001. 257 pp.

Khushf G. Open questions in the ethics of convergence. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 299 – 310.

Lenk C & Biller-Andorno N. Nanomedicine – emerging or re-emerging ethical issues? A discussion of four ethical themes. *Medicine, Health Care and Philosophy* 2007; 10(2): 173-184.

Leydesdorff L & Zhou P. Nanotechnology as a field of science: its delineation in terms of journals and patents. *Scientometrics* 2007; 70(3): 693-713.

Lewenstein BV. What counts as a ‘social and ethical issue’ in nanotechnology? *Hyle Int J Philos Chem* 2005; 11(1):5–18.

Litton P. ‘Nanoethics’? What’s new? *Hastings Center Report* 2007; 37(1): 22-25.

Maia AC. Biopoder, biopolítica e o tempo presente. In: Novaes A. (org.). *O homem máquina: a ciência manipula o corpo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. p.77-108.

Meaney ME. Lessons from the sustainability movement – toward an integrative decision-making. *The Journal of Law, Medicine & Ethics* 2006; 34(4): 682-688.

Medeiros ES, Paterno LG & Mattoso LHC. Nanotecnologia. In: Durán N, Mattoso LHC, Morais PC. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artliber, 2006. p.14-29.

Mehta MD. Nanoscience and nanotechnology: Assessing the nature of innovation in these fields. *Bulletin of science, technology & Society* 2002; 22(4): 269-73.

Mehta MD. The future of nanomedicine looks promising, but only if we learn from the past. *Health Law Review* 2004; 13(1): 16-18.

Miller J. Beyond biotechnology: FDA regulation of nanomedicine. *Columbia Science and Technology Law Review* 2003; 4(2): 1-35.

Mnyusiwalla A, Daar AS & Singer PA. 'Mind the gap': science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14 (3): R9-13.

Moore FN. Implications of nanotechnology applications: using genetics as a lesson. *Health Law Review* 2002; 10(3): 9-15.

Morin E. A inteligência cega. In: _____. *Introdução ao pensamento complexo*. 2. ed. Lisboa: Instituto Piaget - Divisão editorial. 1990. p. 13-23.

Morin E. Os desafios da complexidade. In: _____. *A religação dos saberes: o desafio do Século XXI*. Rio de Janeiro: Bertrand. 2001. p.564.

National Institutes of Health. Nanoscience and nanotechnology: shaping biomedical research (Symposium Report). Bethesda MD: National Institutes of Health Bioengineering Consortium; 2000. <http://www.becon1.nih.gov./nanotechsympreport.pdf> (acesso em 21 abr 2007).

Neves MCP. A fundamentação antropológica da bioética. *Bioética* 1996; 4(1): 7-16.

Nordmann A. Molecular disjunctions: staking claims at the nanoscale. In: Baird D, Nordmann A, Schummer J (Eds.). *Discovering the nanoscale*. Amsterdam: IOS Press. 2004. p.51-55.

Nordmann A. Knots and strands: an argument for productive disillusionment. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 217 – 236.

Novaes A. A ciência no corpo. In: Novaes A. (org.). *O homem máquina: a ciência manipula o corpo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. p. 7-14.

Olivé L. El bien, el mal y la razón: facetas de la ciencia y de la tecnología. México: Paidós. 2000. 212 pp.

Olivé L. Epistemologia na ética e nas éticas aplicadas. In: Garrafa V, Kottow M & Saada A (Orgs). Bases Conceituais da Bioética, enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia; 2006, p. 135.

Petersen A & Anderson A. A question of balance or blind faith?: scientists' and science policymakers' representations of the benefits and risks of nanotechnologies. *NanoEthics* 2007; 1(3): 243-256.

Premida A. Artificialidade e natureza: as nanotecnologias e a agricultura. In: Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente, IV, 2007, Vitória.

Premida A. Uma leitura das inovações bio(nano)tecnológicas a partir da sociologia da ciência. *Caderno IHU Idéias* 2008; 102: 1-32.

Ratner M & Ratner D. Nanotechnology. Prentice Hall: New Jersey; 2003.p.5-6.

Roco MC. International strategy for nanotechnology research and development. *Journal of nanoparticle research* 2001, 3(5-6): 353-60.

Roco MC, Williams S & Alivisatos P, (orgs). Nanotechnology research directions: IWGN workshop report. Vision for nanotechnology research and development in the next decade. Maryland: WTEC/ National Science and Technology Council/ Committee on Technology/ The Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology; 1999. (disponível em: <http://www.ostp.gov/NSTC/html/iwgn/IWGN.Research.Directions/toc.htm> (acesso 21 abr 2007)).

Romano R. Moral e ciência: a monstrosidade no século XVIII. São Paulo: SENAC São Paulo, 2003. 104 pp.

Rothmund PWK. Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. *Nature* 2006; 440: 297-302.

Sass H-M. Introduction: european bioethics on a rocky road. *Journal of Medicine and Philosophy* 2001; 26(3): 215-224.

Sahoo SK, Parveen S & Panda JJ. The present and the future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine, Nanotechnology, Biology and Medicine* 2007; 3 (1): 20-31.

Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS & Singer PA. Nanotechnology and the developing world. *PLoS Medicine* 2005; 5(97): 383-386.

Santos BSS. Um discurso sobre as ciências na transição para uma ciência pós-moderna. *Estudos Avançados* 1988; 2(2): 46-71.

Schnaiberg A. Contradições nos futuros impactos socioambientais oriundos da nanotecnologia. In: Martins, Paulo Roberto (org.). *Nanotecnologia, sociedade e meio-ambiente*. São Paulo: Xamã. 2006. p.79-86.

Schramm FR. Bioética e moralidade das biotecnologias. In: Emerick MC, Valle S, Costa MAF (coord.). *Gestão Biotecnológica: Alguns tópicos*. Rio de Janeiro: Interciência, 1999. p.123-130.

Schramm FR. Paradigma biotecnocientífico e paradigma bioético. In: ODA LM. (ed.). *Biosafety of transgenic organisms in human health products*. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1996. p.109-127.

Schulte PA & Salamanca-Buentello F. Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. *Environ Health Perspect*. 2007; 115(1):5-12.

Schummer J. Identifying ethical issues of nanotechnologies. In: Ten Have HAMJ (ed). *Nanotechnologies, ethics and Politics*. Paris: Unesco; 2007; p. 79-98.

Schummer J. "Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology." *Scientometrics* 2004a; 59 (3): 425-465.

Schummer J. "Societal and ethical implications of nanotechnology": meanings, interest groups, and social dynamics. *Techné* 2004b; 8(2): 56-87.

Seglen PO. Why the impact factor of journals should not be used for evaluating research. *BMJ* 1997; 314(7079): 498-502.

Sfez L. A saúde perfeita: crítica de uma nova utopia. São Paulo: Loyola; 1996; p.129-181.

Shrader-Frechette K. Nanotoxicology and ethical conditions for informed consent. *NanoEthics* 2007; 1(1): 47-56.

Sibilia P. O homem pós-orgânico: corpo, subjetividade e tecnologias digitais. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2002. 228pp.

Sibilia P. (2008, 26 de maio). Ciências da vida redefinem a condição humana. [Entrevista por Patrícia Fachin]. *Revista do Instituto Humanitas Unisinos* 259: 7-9.

Sotolongo PL. O tema da complexidade no contexto da bioética. In: Garrafa V, Kottow M & Saada A (orgs). *Bases Conceituais da Bioética: enfoque latino-americano*. São Paulo: Gaia/Unesco; 2006. p. 93-113.

Sparrow R. Revolutionary and familiar, inevitable and precarious: rhetorical contradictions in enthusiasm for nanotechnology. *NanoEthics* 2007; 1(1): 57-68.

Stang C & Sheremeta L. Nanotechnology – a lot of hype over almost nothing? *Health Law Review* 2006; 15(1): 53-55.

Strand R. Estudios ELSA en nanociencia y nanotecnología: una observación metodológica. In: Foladori G & Invernizzi N (coord). *Nanotecnologías Disruptivas: implicaciones sociales de las nanotecnologías*. México: Miguel Angel Porrúa/ Universidad autónoma de Zacatecas, 2006. P. 53-64.

Sugunan A & Dutta A. Nanoparticles for nanotechnology. *Journal of Physics Science and Idea* 2004; 4(1-2): 50-57.

Susanne C, Casado M & Buxo MJ. What challenges offers nanotechnology to bioethics? *Revista de Derecho y Genoma Humano / Law and the Human Genome Review* 2005; (22): 27-45.

Sweeney AE, Seal S & Vaidyanathan P. The promises and perils of nanoscience and nanotechnology: exploring emerging social and ethical issues. *Bulletin of Science, Technology & Society* 2003; 23(4): 236-245.

Swierstra T & Rip A. Nano-ethics as NEST-ethics: patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. *Nanoethics* 2007; 1(1):3-20.

Tealdi JC. OS princípios de Georgetown: análise crítica. In: Garrafa V, Kottow M & Saada A (orgs). *Bases conceituais da bioética: enfoque latino-americano*. São Paulo: Gaia/Unesco; 2006. p.49-71.

Van Raan AFJ. Scientometrics: state-of-the-art. *Scientometrics* 1997; 38(1):205-218.

Vattimo G. *Ética de la interpretación*. Barcelona: Paidós, 1991. 223pp.

Vázquez AS. *Ética*, 28 ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006. p.30-105.

Victoriano JMR. Intersecções entre sociologia e ecologia: a pesquisa como fenômeno social total a partir da perspectiva crítica de Jesús Ibáñez. In: Martins PR (org.) *Nanotecnologia, sociedade e meio-ambiente*. São Paulo: Xamã, p.87-109. 2006.

Wagner V, Dullaart A, Bock AK & Zweck A. The emerging nanomedicine landscape. *Nature Biotechnology* 2006; 24(10):1211-1217.

Web of Science. ISI web of Knowledge. Disponível em http://apps.isiknowledge.com/summary.do?qid=6&product=WOS&SID=V2aAA2eH4dD5gONLmaC&search_mode=GeneralSearch (acesso em 29/09/2008).

Weckert J & Moor J. The precautionary principle in nanotechnology. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 191-204.

Williams-Jones B. A spoonful of trust helps the nanotech go down. *Health Law Review* 2004; 12(3): 10-13.

Zebrowski RL. Altering the body: nanotechnology and human nature. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 229-246.

BIBLIOGRAFIA

I. Literatura médica

Bainbridge WS. Converging technologies and human destiny. *J Med Philos* 2007; 32(3): 197-216.

Bawa R, Johnson S. The ethical dimensions of nanomedicine. *Med Clin North Am* 2007; 91(5): 881-887.

Berne RW. Towards the conscientious development of ethical nanotechnology. *Sci Eng Ethics* 2004; 10(4): 627-638.

Best R, Khushf G. The social conditions for nanomedicine: disruption, systems, and lock-in. *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 733-740.

Bond PJ. Vision for converging technologies and future society. *Ann N Y Acad Sci* 2004; 1013: 17-24.

Bruce D. Ethical and social issues in nanobiotechnologies: Nano2Life provides a European ethical 'think tank' for research in biology at the nanoscale. *EMBO Rep* 2006; 7(8): 754-758.

Cameron NM. Nanotechnology and the human future: policy, ethics, and risk. *Ann N Y Acad Sci* 2006; 1093: 280-300.

Consoli L. Scientific misconduct and science ethics: a case study based approach. *Sci Eng Ethics* 2006; 12(3): 533-541.

Cranor CF. How should society approach the real and potential risks posed by new technologies? *Plant Physiol* 2003; 133(1): 3-9.

Dupuy JP. Some pitfalls in the philosophical foundations of nanoethics. *J Med Philos* 2007; 32(3): 237-261.

Gordjin B. Nanoethics: from utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view. *Sci Eng Ethics* 2005; 11(4): 521-533.

Grunwald A. Nanotechnology – a new field of ethical inquiry? *Sci Eng Ethics* 2005; 11(2): 187-201.

Grunwald A. The case of nanobiotechnology. *EMBO Rep* 2004; S32-36.

Hoven JV, Vermaas PE. Nano-technology and privacy: on continuous surveillance outside the panopticon. *J Med Philos* 2007; 32(3): 283-297.

Johnson S, Burger I. Limitations and justifications for analogical reasoning. *Am J Bioeth* 2006; 6(6): 59-61.

Jotterand F. The politicization of science and technology: its implications for nanotechnology. *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 658-666.

Kaiser M. Drawing the boundaries of nanoscience – rationalizing the concerns? *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 667-674.

Khushf G. Open questions in the ethics of convergence. *J Med Philos* 2007; 32(3): 299-310.

Khushf G. Systems theory and the ethics of human enhancement: a framework for NBIC convergence. *Ann N Y Acad Sci* 2004; 1013: 124-149.

Khushf G. The ethics of NBIC convergence. *J Med Philos* 2007; 32(3): 185-196.

Lenk C, Biller-Andorno N. Nanomedicine-emerging or re-emerging ethical issues? A discussion of four ethical themes. *Med Health Care Philos* 2007; 10(2): 173-184.

Litton P. "Nanoethics"? What's new? *Hastings Cent Rep* 2007; 37(1): 22-25.

Lopez J. Compiling the ethical, legal and social implications of nanotechnology. *Health Law Rev* 2004; 12(3): 24-27

Lupton M. Nanotechnology – salvation or damnation for humans? *Med Law* 2007; 26(2): 349-362.

Marchant GE, Sylvester DJ. Transnational models for regulation of nanotechnology. *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 714-725.

Meaney ME. Lessons from the sustainability movement: toward an integrative decision-making framework for nanotechnology. *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 682-688.

Moore FN. Implications of nanotechnology applications: using genetics as a lesson. *Health Law Rev* 2002; 10(3): 9-15.

Nordmann A. Knots and strands: an argument for productive disillusionment. *J Med Philos* 2007; 32(3): 217-236.

Parr D. Will nanotechnology make the world a better place? *Trends Biotechnol* 2005; 23(8): 395-398.

Resnik DB, Tinkle SS. Ethical issues in clinical trials involving nanomedicine. *Contemp Clin Trials* 2007; 28(4): 433-441.

Roco MC. Progress in governance of converging technologies integrated from the nanoscale. *Ann N Y Acad Sci* 2006; 1093: 1-23.

Sandler R, Kay WD. The national nanotechnology initiative and the social good. *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 675-681.

Satava RM. Disruptive visions. *Surg Endosc* 2002; 16(10): 1403-1408.

Schulte PA, Salamanca-Buentello F. Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. *Environ Health Perspect* 2007; 115(1): 5-12.

Scott NR. Nanoscience in veterinary medicine. *Vet Res Commun* 2007; 31 Suppl 1: 139-144.

Scott NR. Nanotechnology and animal health. *Rev Sci Tech* 2005; 24(1): 425-432.

Sheremeta L, Daar AS. The case for publicly funded research on the ethical, environmental, economic, legal and social issues raised by nanoscience and nanotechnology (NE3LS). *Health Law Rev* 2004; 12(3): 74-77.

Shipbaugh C. Offense-defense aspects of nanotechnologies: a forecast of potential military applications. *Law Med Ethics* 2006; 34(4): 741-747.

Stang C, Sheremeta L. Nanotechnology – a lot of hype over almost nothing? *Health Law Rev* 2006; 15(1): 53-55.

Susanne C, Casado M, Buxo MJ. What challenges offers nanotechnology to bioethics? *Law Hum Genome Rev* 2005; 22: 27-45.

Sweeney AE. Social and ethical dimensions of nanoscale science and engineering research. *Sci Eng Ethics* 2006; 12(3): 435-464.

Toth-Fejel TT. Humanity and nanotechnology – judging enhancements. *Natl Cathol Bioeth Q* 2004; 4(2): 335-364.

Wardak A, Gorman ME. Using trading zones and life cycle analysis to understand nanotechnology regulation. *J Law Med Ethics* 2006; 34(4): 695-703.

Zhou W. Ethics of nanobiotechnology at the frontline. *Santa Clara Comput High Technol Law J* 2003; 19(2): 481-489.

II. Literatura bioética

Abrams JJ. Pragmatism, artificial intelligence, and posthuman bioethics: Shusterman, Rorty, Foucault. *Human Studies* 2004; 27(3): 241-258.

Allhoff F. On the autonomy and justification of nanoethics. *NanoEthics* 2007; 1(3): 185-210.

Allhoff F, Lin P. What's so special about nanotechnology and nanoethics? *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 179-190.

Bainbridge WS. Converging technologies and human destiny. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 197-216.

Bennett I, Sarewitz D. Too little, too late? Research policies on the societal implications of nanotechnology in the United States. *Science as Culture* 2006; 15(4): 309-325.

Berne RW. Towards the conscientious development of ethical nanotechnology. *Science and Engineering Ethics* 2004; 10(4): 627-638.

Best R, Khushf G. The social conditions for nanomedicine: disruption, systems, and lock-in. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 733-740.

Burri RV. Deliberating risks under uncertainty: experience, trust, and attitudes in a Swiss nanotechnology stakeholder discussion group. *NanoEthics* 2007; 1(2): 143-154.

Campbell CS, Clark LA, Loy D, Keenan JF, Matthews K, Winogro T, Zoloth L. The bodily incorporation of mechanical devices: ethical and religious issues (Part 1). *CQ: Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* 2007; 16(2): 229-239.

Delgado-Ramos GC. Nano-conceptions: a sociological insight of nanotechnology conceptions. *Journal of Philosophy, Science and Law* 2006; 6: 1-57.

Dorbeck-Jung BR. What can prudent public regulators learn from the United Kingdom government's nanotechnological regulatory activities? *NanoEthics* 2007; 1(3): 257-270.

Doubleday R. The laboratory revisited: academic science and the responsible development of nanotechnology. *NanoEthics* 2007; 1(2): 167-176.

Dupuy J-P. Some pitfalls in the philosophical foundations of nanoethics. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 237-261.

Einsiedel EF, McMullen G. Stakeholders and technology: challenges for nanotechnology. *Health Law Review* 2004; 12(3): 5-9.

Fisher E. Ethnographic invention: probing the capacity of laboratory decisions. *NanoEthics* 2007; 1(2): 155-165.

Frodeman R. Nanotechnology: the visible and the invisible. *Science as Culture* 2006; 15(4): 383-389.

Gaskell G, Ten Eyck T, Jackson J, Veltri G. Imagining nanotechnology: cultural support for technological innovation in Europe and the United States. *Public Understanding of Science* 2005; 14(1): 81-90.

Gordjin B. Converging NBIC technologies for improving human performance: a critical assessment of the novelty and the prospects of the project. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 726-732.

Gordjin B. Nanoethics: from Utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view. *Science and Engineering Ethics* 2005; 11(4): 521-533.

Grinbaum A. Cognitive barriers in perception of nanotechnology. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 689-694.

Grunwald A. Nanotechnology – a new field of ethical inquiry? *Science and Engineering Ethics* 2005; 11(2): 187-201.

Grunwald A, Julliard Y. Nanotechnology – steps toward understanding human beings as technology? *NanoEthics* 2007; 1(2): 77-87.

Hall JS. Nano-enabled AI: some philosophical issues. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 247-261.

Hermerén G. Challenges in the evaluation of nanoscale research: ethical aspects. *NanoEthics* 2007; 1(3): 223-237.

Johnson DG. Ethics and technology 'in the making': an essay on the challenge of nanoethics. *NanoEthics* 2007; 1(1): 21-30.

Jotterand F. The politicization of science and technology: its implications for nanotechnology. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 658-666.

Joy B. Why the Future Doesn't Need Us: Our most powerful 21st- century technologies – robotics, genetic engineering, and nanotech -- are threatening to make humans an endangered species. *Wired* 2000; 8(4): 238-263.

Kaiser M. Drawing the boundaries of nanoscience – rationalizing the concerns? *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 667-674.

Kearnes M, Grove-White R, MacNaghten P, Wilsdon J, Wynne B. From bio to nano: learning lessons from the UK agricultural biotechnology controversy. *Science as Culture* 2006; 15(4): 291-307.

Kearnes M, MacNaghten P. Introduction: (re)imagining nanotechnology. *Science as Culture* 2006; 15(4): 279-290.

Kearnes M, Wynne B. On nanotechnology and ambivalence: the politics of enthusiasm. *NanoEthics* 2007; 1(2): 131-142.

Keiper A. Nanoethics as a discipline? *New Atlantis* 2007; (16): 55-67.

Keiper A. The nanotechnology revolution. *New Atlantis* 2003; (2): 17-34.

Kerr I, Bassie G. Building a broader nano-network. *Health Law Review* 2004; 12(3): 57-62.

Khushf G. The ethics of NBIC convergence. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 185-196.

Kjølberg K, Wickson F. Social and ethical interactions with nano: mapping the early literature. *NanoEthics* 2007; 1(2): 89-104.

Kulve HT. Evolving repertoires: nanotechnology in daily newspapers in the Netherlands. *Science as Culture* 2006; 15(4): 367-382.

Lenk C, Biller-Andorno N. Nanomedicine -- emerging or re-emerging ethical issues? A discussion of four ethical themes. *Medicine, Health Care and Philosophy* 2007; 10(2): 173-184.

Lin P. Nanotechnology bound: evaluating the case for more regulation. *NanoEthics* 2007; 1(2): 105-122.

Litton P. "Nanoethics"? What's new? *Hastings Center Report* 2007; 37(1): 22-25.

Lopez J. Compiling the ethical, legal and social implications of nanotechnology. *Health Law Review* 2004; 12(3): 24-27.

Lupton M. Nanotechnology -- salvation or damnation for humans? *Medicine and Law: The World Association for Medical Law* 2007; 26(2): 349-362.

MacDonald C. Nanotechnology, privacy and shifting social conventions. *Health Law Review* 2004; 12(3): 37-40.

Marchant GE, Sylvester DJ. Transnational models for regulation of nanotechnology. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 714-725.

Meaney ME. Lessons from the sustainability movement: toward an integrative decision-making framework for nanotechnology. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 682-688.

Mehta MD. Some thoughts on the economic impacts of assembler-era nanotechnology. *Health Law Review* 2004; 12(3): 33-36.

Mehta MD. The future of nanomedicine looks promising, but only if we learn from the past. *Health Law Review* 2004; 13(1): 16-18.

Miksanek T. Microscopic doctors and molecular black bags: science fiction's prescription for nanotechnology and medicine. *Literature and Medicine* 2001; 20(1): 55-70.

Miller J. Beyond biotechnology: FDA regulation of nanomedicine. *Columbia Science and Technology Law Review* 2003; 4(2): 1-35.

Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. 'Mind the gap': science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14: R9-R13.

Moore FN. Implications of nanotechnology applications: using genetics as a lesson. *Health Law Review* 2002; 10(3): 9-15.

Nordmann A. If and then: a critique of speculative nanoethics. *NanoEthics* 2007; 1(1): 31-46.

Nordmann A. Knots and strands: an argument for productive disillusionment. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 217-236.

Petersen A, Anderson A. A question of balance or blind faith?: scientists' and science policymakers' representations of the benefits and risks of nanotechnologies. *NanoEthics* 2007; 1(3): 243-256.

Rip A. Folk theories of nanotechnologists. *Science as Culture* 2006; 15(4): 349-365.

Rogers-Hayden T, Mohr A, Pidgeon N. Introduction: engaging with nanotechnology -- engaging differently? *NanoEthics* 2007; 1(2): 123-130.

Sandler R, Bosso CJ. Tiny technology, enormous implications. *Issues in Science and Technology* 2007; 23(4): 28-30.

Sandler R, Kay WD. The national nanotechnology initiative and the social good. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 675-681.

Schmidt K. The great nanotech gamble. *New Scientist* 2007; 195(2612): 38-41.

Schuler E. A prospective look at risk communication in the nanotechnology field. *Health Law Review* 2004; 12(3): 28-32.

Sheremeta L. Nanotechnology and the ethical conduct of research involving human subjects. *Health Law Review* 2004; 12(3): 47-56.

Sheremeta L, Daar AS. The case for publicly funded research on the ethical, environmental, economic, legal and social issues raised by nanoscience and nanotechnology. *Health Law Review* 2004; 12(3): 74-77.

Shipbaugh C. Offense-defense aspects of nanotechnologies: a forecast of potential military applications. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 741-747.

Shrader-Frechette K. Nanotoxicology and ethical conditions for informed consent. *NanoEthics* 2007; 1(1): 47-56.

Sparrow R. Revolutionary and familiar, inevitable and precarious: rhetorical contradictions in enthusiasm for nanotechnology. *NanoEthics* 2007; 1(1): 57-68.

Stang C, Sheremeta L. Nanotechnology -- a lot of hype over almost nothing? *Health Law Review* 2006; 15(1): 53-55.

Susanne C, Casado M, Buxo MJ. What challenges offers nanotechnology to bioethics? *Revista de Derecho y Genoma Humano / Law and the Human Genome Review* 2005; (22): 27-45.

Sweeney AE. Social and ethical dimensions of nanoscale science and engineering research. *Science and Engineering Ethics* 2006; 12(3): 435-464.

Swierstra T, Rip A. Nano-ethics as NEST-ethics: patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. *NanoEthics* 2007; 1(1): 3-20.

Thurs DP. No longer academic: models of commercialization and the construction of a nanotech industry. *Science as Culture* 2007; 16(2): 169-186.

Toth-Fejel TT. Humanity and nanotechnology -- judging enhancements. *National Catholic Bioethics Quarterly* 2004; 4(2): 335- 364.

Toumey C. Privacy in the shadow of nanotechnology. *NanoEthics* 2007; 1(3): 211-222.

Tyshenko MG. Considerations for using genetic material in medical nanotechnology. *Health Law Review* 2004; 12(3): 19-23.

Van Den Hoven J. Nanotechnology and privacy: the instructive case of RFID. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 215-228.

Van den Hoven J, Vermaas PE. Nano-technology and privacy: on continuous surveillance outside the panopticon. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 283-297.

Wardak A, Gorman ME. Using trading zones and life cycle analysis to understand nanotechnology regulation. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 695-703.

Weckert J, Moor J. The precautionary principle in nanotechnology. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 191-204.

Weil V. Introducing standards of care in the commercialization of nanotechnology. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 205-213.

Williams-Jones B. A spoonful of trust helps the nanotech go down. *Health Law Review* 2004; 12(3): 10-13.

Wilson RF. Nanotechnology: the challenge of regulating known unknowns. *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 704-713.

Wolbring G. Solutions follow perceptions: NBIC and the concept of health, medicine, disability and disease. *Health Law Review* 2004; 12(3): 41-46.

Wolkow RA. The ruse and the reality of nanotechnology. *Health Law Review* 2004; 12(3): 14-18.

Zebrowski RL. Altering the body: nanotechnology and human nature. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 229-246.

Zhou W. Ethics of nanobiotechnology at the frontline. *Santa Clara Computer and High Technology Law Journal* 2003; 19(2): 481-489.

ANEXO I - Manuscrito para publicação, segundo exigência do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade de Brasília

Título:

Nanociência e Bioética: Novas abordagens éticas para novos paradigmas científicos

(Formatação de acordo com as normas da Revista Brasileira de Bioética)

Nanociência e Bioética: Novas abordagens éticas para novos paradigmas científicos

Nanoscience and Bioethics: New ethical approaches to new scientific paradigms

Monique Pyrrho

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

monique@yahoo.com.br

Volnei Garrafa

Programas de Pós-Graduação em Bioética e em Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Resumo: Partindo do pressuposto que a nanotecnologia representa um ramo expoente de um novo paradigma científico, segundo o referencial de Kuhn, discute-se a importância ética do surgimento de um conhecimento científico que traz, em sua estrutura, uma ruptura com o modelo vigente de ciência. Seus fundamentos, que esbarram incomodamente nas básicas previsibilidade e reprodutibilidade científicas, aliados à rara simultaneidade entre a reflexão ética e os avanços tecnológicos, fazem da nanotecnologia uma inovação mesmo se comparada às recentes revoluções tecnocientíficas. Conseqüentemente, sua abordagem ética também precisa apresentar novas disposições, como a pluralidade moral da sociedade e a capacidade de deliberar no presente mesmo diante de implicações em parte imprevisíveis. Neste intuito, é útil identificar as *implicações éticas autógenas* à nanotecnologia, possíveis resultados diretos de seu uso em aspectos como toxicidade e impacto ambiental. Mas talvez sejam as *implicações heterógenas*, resultantes da incorporação dessa tecnologia na dinâmica social, freqüentemente preteridas pela ficção científica, as que demandem maior atenção.

Palavras-Chave: Nanotecnologia, Bioética, Paradigmas científicos, Ética na pesquisa.

Abstract: Considering nanotechnology as an important branch of a new scientific paradigm, according to Kuhn, it is necessary to discuss the ethical relevance of the arising of a scientific knowledge that brings, in its structure, a breaking off with the present science model. Associated to the fact that ethical reflection and technological advances are rarely simultaneous, the foundations of nanotechnology, that come up against basic scientific prediction and reproduction, make it really innovative in recent technical and scientific revolutions. So, its ethical approaches must be able to deliberate now even if part of the results is unpredictable, as well take into account the social plurality. Thus, it is convenient to recognize the *autogenous* implications of nanotechnology, that are direct related to the use of its products and devices, such as toxicity and impact to the environment, but the matters that may require real attention are the *heterogenous* ones, that come about as an effect of the incorporation of this technology to social drive, which are frequently ignored by scientific fiction.

Keywords: Nanotechnology, Bioethics, Scientific Paradigms, Research Ethics.

Há algo de novo na nanotecnologia enquanto revolução tecnocientífica: a reflexão ética se antecipa às descobertas. Mais do que o avanço tecnológico propriamente, o que há de mais inovador na nanotecnologia é a discussão ética que ocorre contemporaneamente aos acontecimentos científicos. Já na primeira referência ao tema, são as expectativas de transformação de nossa relação com o mundo, de *ir tão fundo* na estrutura da matéria que motivam Feynman (1), muito antes da real possibilidade de manipulação e conformação de compostos em níveis atômicos e moleculares. As repercussões antecipam e ofuscam os fatos. Os debates sobre as transformações do mundo e do humano em pós-humano se dão antes da ciência básica, o *grey goo* apocalíptico se instala antes mesmo da própria nanotecnologia estabelecer claramente métodos e procedimentos. Ainda que a dimensão da reflexão ética necessária atualmente não se restrinja às iniciais abordagens utópicas ou distópicas, é significativo e raro que o debate sobre implicações éticas tenha ocorrido antes dos avanços científicos.

No entanto, não são discussões entre o progresso e o conservadorismo, visões implausíveis ou cenários perturbadores que devem pautar a análise do tema. Uma abordagem ética, que não deseja se enveredar por temas que a ficção científica retrata melhor, se dá ao

atentar que a nanociência, em sua estrutura e abordagem científicas, ilustra uma ruptura característica dos novos paradigmas com o modelo científico clássico.

Em nanotecnologia, uma das lições iniciais é compreender que o que a caracteriza não é apenas o seu tamanho, mas as propriedades químicas e físicas dos materiais que particularmente dele dependem (2). Portanto, o objetivo principal da nanotecnologia não é a obtenção do benefício direto vindo da redução do tamanho das partículas. O grande atrativo de se trabalhar em nanoescala residiria nas novas e incomuns propriedades físicas e químicas, não encontradas nos mesmos materiais em dimensões micro e macroscópicas.

A transferência tanto dos métodos entre as disciplinas quanto de posteriores aplicações tecnológicas implica na não-factibilidade de conhecer todas as possibilidades de utilização e de prever o alcance das conseqüências dos usos conhecidos. No caso da nanociência, a própria fundamentação teórica incrementa essa imprevisibilidade. As características específicas da dimensão nanométrica, que proporcionam propriedades divergentes e inovadoras em relação às leis físico-químicas que determinam o comportamento do material nas “normais” escalas macroscópicas, implicam significações éticas novas e em parte também imprevisíveis.

Paradigma científico e implicações éticas

No caso da nanotecnologia, é o comportamento diverso e imprevisto dos materiais manipulados em nanoescala o fundamento de sua ciência, sendo a ela intrínsecos, portanto, o desconhecido e o imprevisível. O conhecimento científico, em si, insuficiente para proporcionar soluções morais, se revela aqui também incapaz, em última análise, de descrever fenômenos e fornecer informações suficientemente estabelecidas, necessárias à reflexão sobre seus aspectos éticos.

As questões e urgências éticas advindas das aplicações nanotecnológicas se apresentam numerosas e complexas demais para serem respondidas de forma satisfatória somente por parte dos atores envolvidos. A história já provou ser insuficiente e por vezes enviesada a análise de questões éticas relacionadas a avanços tecnológicos apenas por parte dos cientistas. Frente a uma ciência que, além de não possuir as ferramentas necessárias para tratar do fenômeno moral, revela quebras epistemológicas em suas características fundamentais de reprodução e previsibilidade e em sua própria função de descrever comportamentos

reprodutíveis, faz-se necessária uma construção ética também nova, que enfrente os dilemas propostos nas formas e linguagem deste novo paradigma científico: uma ética que saiba dialogar com uma ciência que encontra o imprevisível e desconhecido no âmago de suas bases epistemológicas.

Assim, o anseio por detalhadas análises de riscos, baseadas no pleno conhecimento das possibilidades técnicas, é frustrado. Para ir além de uma ética da precaução, que tem se demonstrado insuficiente para pautar a vida prática, é necessária uma construção mais ampla dos parâmetros éticos. Faz-se necessária uma base transdisciplinar que considere a complexidade das relações entre os mais diversos níveis da realidade, compreendendo fenômenos científicos e sociais.

A nanociência e a nanotecnologia, com suas extraordinárias promessas e imprevisíveis riscos, podem ser entendidas como um segmento prático de um novo paradigma científico. Kuhn (3), em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, descreve o surgimento da ciência moderna e define os *paradigmas científicos* como os sucessivos modelos de fundamentação das teorias científicas. A *ciência normal* corresponderia à pesquisa baseada em realizações científicas que são reconhecidas por algum tempo como fundamentos para a prática posterior. Assim, a ciência normal é fundamentada em paradigmas, ou seja, modelos que estruturam e ordenam o conhecimento científico atual, determinando os métodos e os objetos de estudo. São, portanto, os paradigmas que dão corpo à ciência normal, que em geral desenvolve-se para afirmar e confirmar a teoria e concepções comuns aos cientistas.

No caso da nanociência, o paradigma anteriormente vigente é a Mecânica Newtoniana, que avançou a partir da hipótese cartesiana, completando-a em alguns aspectos, para descrever a interação dos corpos macroscópicos. Ainda de acordo com Kuhn (3), é da própria ciência normal vigente que se estrutura a revolução científica que dará origem ao próximo paradigma. Assim, a pesquisa normal, seguindo o método científico cartesiano de análise, estudo e síntese, influenciou o estudo dos corpos e interações e fez com que, dentro de um determinado contexto histórico, a tentativa de aplicação do paradigma vigente para a miniaturização dos objetos resultasse em sua própria crise.

A busca da verificação da validade do paradigma teórico, fim último da ciência normal, leva à detecção de imperfeições e incoerências entre a teoria e os fenômenos (3). Assim a física quântica nasce da observação de comportamentos em escalas nanométricas distintos daqueles previstos pela teoria científica vigente. A busca da explicação última, da lei universal que rege o comportamento de todos os corpos em sua menor unidade se vê

frustrada, tamanha a divergência do mundo macroscópico. Em níveis atômicos e moleculares, as leis que determinam as interações estão relacionadas à natureza ondulatória dos elétrons e às implicações da frequência e comprimento de ondas nos quais vibram. A busca da confirmação do paradigma científico anterior demonstra “falhas teóricas” que dão origem ao novo paradigma que sustenta a nanotecnologia, a física quântica.

A extrapolação da nanociência ao modelo científico vigente vai além da mudança da teoria física que o explica. A Nanotecnologia nasce de uma nova forma de produção científica, a interdisciplinaridade. Segundo Mehta (4), a nanociência representa a “convergência da física quântica, biologia molecular, ciência da computação, química e engenharia”. A interdisciplinaridade por meio da transferência e a interação de métodos, aplicações e fundamentações teóricas entre determinadas disciplinas gera novas disciplinas (5): especificamente, a física quântica, a química e a engenharia interagem de forma a convergir na criação da nanociência.

Esta corresponde a um tipo de conhecimento que difere da produção científica cartesiana que busca a especialização, resultando da convergência e interação de conhecimentos distintos. Aproximando-se, desta forma, às necessidades e aos paradigmas científicos da complexidade contemporânea, onde as interações disciplinares também extrapolam a divisão convencional entre ciências exatas, humanas e biomédicas. A nanociência diverge então do método científico baseado na análise para obtenção do conhecimento que, em busca da objetividade da prática científica, gerou a especialização e a disjunção dos saberes, determinando a ignorância recíproca entre as ciências humanas, inconscientes do físico, e as ciências naturais, inconscientes da realidade social (6).

Morin (6), em confluência às idéias de Kuhn (3), afirma que esta disjunção levou à impossibilidade da observação do mundo em sua real complexidade, à redução da realidade a regras e a leis “matematizadas” que o explicariam perfeitamente, ignorando o imprevisto ou tomando-o como erro. A realidade passou a ser concebida como a soma dos fenômenos observáveis, sem contemplar as possíveis interfaces entre a ciência e a filosofia, entre as ciências humanas e as biológicas (7).

A partir da percepção da realidade em sua complexidade, uma nova tecnologia e um novo paradigma científico têm implicações práticas que ultrapassam os limites disciplinares originários. O pensamento complexo é ilustrado como uma rede e procura analisar as possíveis interações entre os mais diversos níveis de realidade e as repercussões dos fatos,

consciente, porém, que o imprevisto é característica dos fenômenos e não um resultado do erro ou algo a ser desprezado (6).

A complexidade pode ser exemplificada pela ruptura epistemológica da divisão entre ecologia e sociologia, onde a análise científica tem por objeto o meio sem o homem e o homem fora do ambiente. Entende-se, portanto, que esta divisão é artificial e etnocêntrica, pois a mudança do ambiente determina importantes impactos sociais assim como o inverso também ocorre. Logo, a análise das possíveis conseqüências da nanotecnologia deve ocorrer de forma a não se desconectarem estas dimensões (8). Esta compreensão é fundamental na análise das reais implicações e distribuição dos benefícios sociais causados pela economia de energia e matéria proporcionada pela indústria nanotecnológica (9).

Um novo paradigma surge, em geral, com respostas mais adequadas a questões não respondidas pelo anterior, capacitando os cientistas a explicar um maior número de fenômenos ou de forma mais precisa alguns dos fatos previamente conhecidos. Por isso, a aplicação de novas tecnologias gera polêmica, tanto por parecer ingenuamente a alguns como a solução de todos os problemas do mundo, como por explicitar um conjunto de fenômenos desconhecidos, gerando descrédito e, por vezes, pânico frente ao desconhecido (3).

A nanotecnologia não foge a esta regra. Por vezes apresenta-se na forma de uma tecnologia revolucionária que mudará a forma de viver do homem, por meio da sua utilização na indústria, comunicação e informática. Na medicina, parece apresentar ainda mais soluções às limitações humanas, prometendo cirurgias menos invasivas e mais eficazes, medicamentos mais específicos, tratamento de doenças como o câncer e até mesmo com a possibilidade de proporcionar melhoras dos processos cognitivos e da memória (10).

Por outro lado, o desconhecimento atual do real alcance da nanotecnologia leva a reações extremas, alardeando riscos ambientais, implicações sociais e no modo de viver humano. Exemplo é o debate em torno do chamado *grey goo*, que se refere à situação em que os dispositivos nanoescalares, os nanorobôs, dotados de capacidade de auto-replicação ocupariam o mundo, fugindo ao controle humano e, por fim, eliminariam a espécie do planeta (11).

Assim, é desejável que a Bioética dedique-se aos temas éticos decorrentes do acelerado desenvolvimento científico e tecnológico dos últimos anos. No entanto, a bioética não deve ser usada como um instrumento metodológico pretensamente neutro de leitura e interpretação dos conflitos provocados por avanços científicos, camuflando as origens coletivas dos dilemas e acarretando profundas distorções sociais. Pelo contrário, a abordagem das temáticas

emergentes, como é o caso da nanotecnologia, se dá a partir de um arcabouço crítico e epistemologicamente dialético, engajado com as questões sociais, em busca de respostas aos paradoxos éticos impostos pelo contexto de desequilíbrio social (12).

É fato que os rápidos avanços da nanotecnologia têm trazido à tona vários debates sobre as implicações éticas de seu uso. Emergem, desta forma, temas relacionados à equidade, distribuição dos benefícios e acesso aos avanços científicos, impactos ambientais (uso de novos materiais e propriedades novas de materiais já conhecidos podem torná-los insolúveis ou poluentes), implicações quanto à privacidade e segurança (equipamentos de monitoramento invisíveis e infinitas possibilidades para a indústria bélica), modificação da constituição de seres vivos (transgenia), dispositivos moleculares auto-replicáveis, entre outros (13).

Embora as possíveis implicações éticas e sociais sejam muitas, e não restritas à toxicidade imediata ao ser humano, é preocupante a escassez de estudos aprofundados a respeito das implicações éticas, ambientais, legais e sociais da aplicação da nanotecnologia. Enquanto, as pesquisas sobre aspectos técnicos e científicos da nanotecnologia têm crescido intensamente nos últimos anos, tanto o investimento quanto as pesquisas sobre os possíveis impactos éticos e sociais dessa tecnologia são ainda incipientes. As abordagens feitas comumente demonstram o distanciamento entre o saber técnico-científico e as reflexões sócio-políticas e filosóficas necessárias (14).

Sotolongo (15) destaca dois importantes aspectos que demandam uma atenção ética específica em relação ao tipo de ciência atual exemplificada na nanociência. Primeiramente, pela grande capacidade de intervir em fenômenos naturais, o homem de maneira inédita é capaz de interagir com a matéria e a energia manipulando-as, o que o capacita a potencializar suas habilidades físicas e até mesmo intelectuais por meio de sistemas integrados cada vez mais autônomos. Quanto mais a ciência aproxima-se do controle das condições do meio, mais próxima encontra-se da potencialidade concreta de destruição. A segunda circunstância deve-se à grande quantidade de conhecimentos adquiridos, o que tornou impossível identificar todos os possíveis usos e interações práticas das tecnologias decorrentes. Diante da complexidade natural e social, as implicações práticas não são suscetíveis de conhecimento, previsibilidade ou manipulação a partir de uma relação de controle; ao contrário, mostram aspectos inerentes de incerteza e de certa independência em relação aos criadores.

Algumas abordagens éticas: uma tipologia

Longe de esgotar os possíveis aspectos éticos levantados pela nanotecnologia, a proposta lançada neste momento é esboçar o que a literatura e os debates sobre o tema apontam como principais aspectos éticos que emergem da aplicação da nanotecnologia e de sua relação com a sociedade.

Para esta finalidade, diversos autores enveredam-se a aventar e enumerar os mais diversos impactos possíveis. Seguindo uma tendência que busca agregar e categorizar as possíveis questões éticas derivadas do tema, encontram-se propostas como a de Schummer (16) que, para enfrentar a tarefa de discutir a relação entre ética e nanotecnologia, classifica suas implicações em tópicos específicos e aspectos gerais. Os primeiros compreenderiam a abordagem ética relacionada aos processos de pesquisa em particular, o processo de produção do laboratório à indústria, manipulação, os produtos tecnológicos e suas aplicações. Já os aspectos gerais referem-se à maneira como os programas científicos são desenvolvidos e controlados, como se situam nos contextos científico e social mais amplos.

A Bioética, que tem por objetos de estudo as interações entre tecnologia e sociedade, repercussões do uso de instrumentos e de conhecimentos produzidos pelo homem, volta o seu olhar à nanotecnologia não pelas dimensões das nanopartículas. O interesse está na alteração da matéria por meio da técnica, a transformação por intermédio humano e não na dimensão nanométrica em si, visto que é encontrada no ambiente independentemente da interferência do engenho humano. Enfatiza-se, porém, que mesmo da intervenção humana não deriva qualquer valor moral intrínseco. Um composto de carbono não é eticamente melhor do que outro, seja ele nanoestruturado ou não. É nas relações entre os homens, em sociedade, e com o meio que os produtos e seus usos se mostrarão mais ou menos adequados.

Algumas destas implicações éticas se demonstram de forma mais óbvia, como quando um composto é tóxico ou poluente. Outros desafios éticos se tornam nítidos apenas nas complexas interações sociais, como as repercussões na economia mundial e na desigualdade social resultantes da introdução e apropriação das nanotecnologias pelo mercado.

Emprestando da literatura alguns critérios de classificação e aliando à idéia já proposta de que a abordagem ética da nanotecnologia passa pela imprevisibilidade paradigmática deste fenômeno tecnocientífico, se propõe aqui uma apreciação esquemática das possíveis questões. Os dilemas resultantes da interação de um novo paradigma científico com as complexas e

globais dinâmicas sociais, juntamente à factibilidade da análise de riscos no uso de produtos nanotecnológicos, permitem classificar as análises éticas das implicações da nanotecnologia em duas categorias: autógenas e heterógenas.

Implicações éticas autógenas

As nanotecnologias são caracteristicamente tecnologias de melhoramento, ou seja, refinam e aprimoram instrumentos e materiais para outras áreas, assim como muitas das tecnologias de convergência. Alteram compostos e dispositivos já existentes, mas também desenvolvem novos. É este aspecto que mais está relacionado a conseqüências cientificamente observáveis e por vezes de grande proporção.

As nanopartículas não são invenções atuais, mas a capacidade de estruturá-las sistematicamente para a exploração industrial de suas propriedades certamente é nova. Os produtos assim desenvolvidos para fins esportivos, alimentícios, automotivos, cosméticos, de informática e muitos outros começam a ser disponibilizados no mercado. Esta produção em escala industrial é crítica, já que pode acarretar significativos danos ao ambiente, aos trabalhadores e à grande população ávida por insumos tecnológicos.

O desconhecimento parcial das propriedades dos materiais é conjugado à regulação defasada por parte dos organismos nacionais e internacionais, que levam em conta a composição química dos elementos e não sua conformação. Isto possibilita que um novo composto nanoestruturado chegue ao mercado de medicamentos, por exemplo, sem passar por novos testes de toxicidade, sendo que as reações orgânicas podem ser completamente diversas.

A própria análise toxicológica ou imunológica pode estar limitada, já que os padrões de normalidade e a anormalidade destes testes visam às reações a partículas macro e microscópicas. Vale lembrar que a própria nanociência surge da constatação de que toda a análise científica se embasa na adequação entre método e interpretação. Se um instrumento adquire alcance para manipular outras escalas, pode revelar novas regras ou interpretar diversamente um padrão conhecido.

As implicações éticas autógenas não foram assim denominadas por se entender que são intrínsecas à nanotecnologia, afirmação da qual se poderia apreender erradamente um valor ontológico bom ou ruim de suas aplicações tecnológicas. As implicações são consideradas autógenas por se aproximarem a concepção de um efeito causal, por serem referentes principalmente a aplicação dos adventos pelo homem, sem que haja necessidade de uma

complexa interferência de outros fatores. São estas as repercussões mais frequentemente visitadas nos debates, por aproximarem-se do modelo predominante de Ética da ciência, normalmente restrito à avaliação do impacto dos produtos e dispositivos no ambiente e na saúde. Entretanto, exatamente onde o uso parece apresentar riscos mais suscetíveis à mensuração e análise, é necessário assegurar-se de que a mesma tecnologia que produz é capaz de fornecer instrumentos suficientemente calibrados para avaliar as falhas de sua produção e apontar soluções.

Implicações éticas heterógenas

A justificação para a classificação e a nomenclatura recorre em parte à concepção da *tecnologia enquanto rede*, na qual o caráter de associação entre elementos diversos é central. Os fenômenos sociais são tomados amplamente, são rompidos os septos forjados entre as entidades e elementos humanos e não-humanos. (17)

As possíveis repercussões do uso da nanotecnologia, aqui tratados, têm suas origens nas interfaces das diversas dimensões culturais, sociais, econômicas, ambientais, políticas desta rede. Heterógenas, porque fundamentalmente resultantes de interações complexas, demandam uma avaliação ética que escapa à busca de relações causa-efeito e conseqüentemente a análises lineares de riscos.

Expectativas imediatistas de resolver tecnicamente problemas sociais mais profundos, como a perspectiva de que algumas das principais aplicações da nanotecnologia possam auxiliar as metas de desenvolvimento da ONU, com a produção energética e aumento da produtividade agrícola (18), levanta aspectos ambientais, políticos, econômicos e de saúde pública que, por implicações mútuas, deflagram uma discussão que se distancia de soluções simples.

Embora algumas implicações éticas heterógenas, como o controle social, a propriedade intelectual, a economia do conhecimento, as injustiças sociais, não despertem a atenção da mídia ou exasperem os ânimos como o fazem os cinematográficos *ciborgs* e a prometida *cura para todo mal*, talvez sejam as implicações mais frequentemente esquecidas as que retratem as dimensões mais tangíveis e necessárias para a análise ética da nanotecnologia.

Reconhecendo a defectibilidade comum às classificações científicas, as categorias aqui propostas servem ao propósito de relacionar a possibilidade de analisar os riscos decorrentes da nanotecnologia e as complexas interdependências estabelecidas socialmente. E apontam

para a dinâmica social como o *locus* onde extenuantes reflexões éticas e debates públicos se fazem mais necessários.

Disposições Finais

A interdisciplinaridade e a impossibilidade de conhecer todas as aplicações e implicações da nanotecnologia conferem um caráter de ruptura à abordagem científica que a origina. A própria fundamentação teórica da nanociência está assentada nestas propriedades inovadoras. Esta não-factibilidade do conhecimento pleno e a imprevisibilidade inerente às propriedades exploradas pela nanotecnologia fazem com que não somente surjam novos desafios éticos, mas também emerja a necessidade de uma abordagem ética nova.

Torna-se explícita a distinção que pode haver entre a ética tradicional que tenta responder posteriormente a questões já apresentadas e uma concepção que tenta adiantar a reflexão ética às possíveis implicações morais advindas da aplicação desta nova tecnologia. Esta diferença, juntamente ao entendimento da complexidade da realidade, aponta para a necessidade de uma análise da aplicação da nanotecnologia a partir de uma perspectiva bioética que possua fundamentos suficientemente dinâmicos para respondê-las e que não se limitem a uma ética codificada ou principialista estrita.

Para a análise de uma tecnologia inovadora como esta em questão é necessária uma abordagem bioética que considere não apenas a complexidade da realidade como um todo, mas também as questões morais específicas de um determinado contexto sócio-cultural. Para tanto, a Bioética da qual se precisa não é mais aquela embasada epistemologicamente em princípios que carecem tanto de fundamentação teórica suficientemente estratificada quanto de aplicabilidade em contextos complexos. Suas bases não se sedimentam em um conhecimento científico segmentado que se acumula, mas em um conhecimento (dos fatos) que contemple a complexidade que os compõe. A partir destes parâmetros, será possível gerar implicações normativas aplicáveis a um diálogo moral que se pautar na tolerância às diferenças, e possa, inclusive, balizar decisões em situações sócio-econômico-culturais diversas (5).

Longe de querer atribuir valores morais intrínsecos, o intento de propor uma distinção entre implicações autógenas e heterógenas na construção da abordagem ética da

nanotecnologia, considerando a falibilidade a que estão sujeitas todas as classificações, é distinguir as interações que a proporcionam.

Os processos de pesquisa, produção e aplicação da nanotecnologia são considerados pelas temáticas autógenas. Neste caso, a reflexão ética que passa por uma análise de riscos nem sempre possível exige uma dupla habilidade: o aprimoramento técnico, com o desenvolvimento de dispositivos adequados para tal avaliação, mas também a busca de novos parâmetros éticos que se sustentem mesmo diante da parcela do conhecimento não atingida.

As questões heterógenas, que tratam das interações complexas tramadas entre sociedade, tecnologia, ambiente, política e economia, dentro da incipiente discussão ética da nanotecnologia, são as que menos têm recebido atenção, embora uma leitura sóbria e atenta revelem-nas extremamente relevantes e plausíveis.

Diante do modismo que dita a corrida dos laboratórios para adicionar o prefixo *nano* aos títulos de suas pesquisas e dos países para liderar a produção nanotecnológica de ponta, os que tomam as decisões oscilam entre o descaso para com os aspectos éticos, em nome do progresso científico, e a moratória definitiva das pesquisas. Todavia, frente a este quadro, mais do que de urgência ou alarde, a reflexão ética precisa do ritmo sóbrio do conhecimento científico, mas somente daquele necessário para proporcionar o diálogo que contemple a diversidade de interações e atores envolvidos.

Referências

1. Feynman RP. There's plenty of room at the bottom. In: Gilbert HD. Miniaturization. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1961. p. 282-296.
2. Ratner M, Ratner D. Nanotechnology. Prentice Hall: New Jersey; 2003.p.5-6.
3. Kuhn TS. A Estrutura das Revoluções Científicas. 5.ed. São Paulo: Perspectiva; 2001.
4. Mehta MD. Nanoscience and nanotechnology: Assessing the nature of innovation in these fields. Bulletin of science, technology & Society 2002; 22(4): 269-73.
5. Garrafa V. Multi-inter-transdisciplinaridade, complexidade e totalidade concreta em Bioética. In: Garrafa V, Kottow M, Saada A (orgs). Bases Conceituais da Bioética: enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia/Unesco; 2006. p. 73-85.
6. Morin E. Os desafios da complexidade. In: _____. A religação dos saberes: O desafio do Século XXI. Rio de Janeiro: Bertrand; 2001. p.564.

7. Morin E. A inteligência cega. In: _____. Introdução ao pensamento complexo. 2. ed. Lisboa: Instituto Piaget - Divisão editorial; 1990. p. 13-23.
8. Victoriano JMR. Intersecções entre sociologia e ecologia: a pesquisa como fenômeno social total a partir da perspectiva crítica de Jesús Ibáñez. In: Martins PR. (org.) Nanotecnologia, Sociedade e Meio-ambiente. São Paulo: Xamã; 2006. p.87-109.
9. Schnaiberg A. Contradições nos futuros impactos socioambientais oriundos da nanotecnologia. In: Martins PR (org.). Nanotecnologia, Sociedade e Meio-ambiente. São Paulo: Xamã; 2006. p.79-86.
10. Freitas Jr RA. What is nanomedicine? *Nanomedicine, Nanotechnology, Biology and Medicine* 2005; 1(1): 2-9.
11. Feder BJ. Opposition to Nanotechnology. *New York Times*, 19 ago 2002; (C3).
12. Garrafa V, Porto D. Intervention Bioethics: a proposal for peripheral countries in a context of power and injustice. *Bioethics* 2003; 17(5-6): 399-416.
13. Salvarezza RC. Why is nanotechnology important for developing countries? In: UNESCO. Proceedings of the third Session of the World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and technology. Rio de Janeiro: UNESCO; 2003. p. 134-36.
14. Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. 'Mind the gap': science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14(3): R9-13.
15. Sotolongo PL. O tema da complexidade no contexto da Bioética. In: Garrafa V, Kottow M, Saada A (orgs). Bases Conceituais da Bioética: enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia/Unesco; 2006. p. 93-113.
16. Schummer J. Identifying ethical issues of nanotechnologies. In: Ten Have HAMJ (org). Nanotechnologies, ethics and Politics. Paris: Unesco; 2007; p. 79-98.
17. Benakouche T. Tecnologia é sociedade: contra a noção de impacto tecnológico. *Cadernos de Pesquisa PPGSP* 1999; 17: 1-28.
18. Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS, Singer PA. Nanotechnology and the developing world. *Plos Medicine* 2005; 2(5): 383-386.