

NANOTECNOLOGIA: UMA BREVE DISCUSSÃO SOBRE OS IMPACTOS DA NANOTECNOLOGIA À SAÚDE HUMANA E AO MEIO AMBIENTE

MARTIOLI, Andreza Copatto Serra; PINHEIRO, Fabriciano

andreza.serra@basf.com

Centro de Pós Graduação Oswaldo Cruz

Resumo: *O interesse pela nanotecnologia vem da necessidade da sociedade por dispositivos cada vez menores e mais leves. O estudo desta nova área da ciência mostra que estes materiais não possuem simplesmente dimensões reduzidas, mas apresentam propriedades que os permitem desempenhar funções específicas. Este trabalho teve como propósito a compilação e discussão de informações publicadas na literatura mundial sobre os impactos que os nanomateriais podem apresentar à saúde e ao meio ambiente. É comum considerar que nanotecnologia seja a solução para muitos problemas ambientais e sociais, porém, deve-se também ponderar os impactos negativos destes materiais. Apesar de não haver dados toxicológicos e ecotoxicológicos suficientes para os nanomateriais, sabe-se que as nanopartículas entram no nosso organismo através do sistema digestivo, respiratório e pele. Já no nosso corpo, elas se deslocam por órgãos e tecidos, entram no cérebro e geram sérios riscos à nossa saúde. Nanopartículas sintéticas em contato com tecidos vivos causam inflamação, danos ao tecido, ao DNA e posteriormente, possibilita o crescimento de tumores. No meio ambiente, é imprescindível se conhecer as rotas de exposição e o ciclo de vida dos materiais, podendo assim, compreender os riscos destes materiais aos seres humanos e a outros organismos. É fundamental exigir do governo a criação de legislações baseadas no princípio da precaução e transparência. Alguns governos como a França e Comunidade Europeia, já buscam legislar sobre o tema, a fim de garantir que o comércio dos nanomateriais seja realizado de forma segura à saúde e ao meio ambiente.*

Palavras-chaves: *nanopartículas, toxicológicos, ecotoxicológicos, riscos.*

Abstract: *The interest in nanotechnology comes from the need of society for ever-smaller and lighter devices. The study of this new science area shows that these materials don't have simply reduced dimensions, but have properties that allow them to perform specific functions. This paper has as purpose the compilation and discussion of published information available in global literature about impacts that nanomaterials may present on health and environment. It is a common opinion that nanotechnology is the solution to many environmental and social problems, however, it should also consider the negative impacts of these. Although we don't have enough toxicological and ecotoxicological data concerning nanomaterials, it's known that nanoparticles enter our body through the digestive, respiratory and skin. Already in our body, they move by organs and tissues, enter the brain and cause serious risks to our health. Synthetic nanoparticles in contact with living tissues cause inflammation, tissue and DNA damage, and subsequently allows the tumor growth. In the environment, it's important to know the exposure routes and life cycle of materials in order to understand the risks of these materials to human beings and other organisms. It's essential to demand from the government laws based on Precaution and Transparency Principles. Some governments such as France*

and the European Community, are now seeking to legislate on the subject in order to ensure that marketing of nanomaterials is performed safely both to health as the environment.

Keywords: *nanoparticles, toxicological, ecotoxicological, risks*

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, necessita-se cada vez mais de dispositivos menores e mais leves. Deseja-se pilhas, baterias, carros, eletrônicos etc., cada vez mais leves, portáteis, confiáveis, menores e economicamente viáveis. Desta necessidade, nasceu o interesse em nanotecnologia (ASKELAND; PHULÉ, 2008).

Nanotecnologia se refere às partículas numa escala de nanômetros ($10^{-9} = 0,000000001$ m) (RATTNER, 2004).

A Nanotecnologia tem um grande potencial de venda e é considerada a tecnologia do século XXI. Através dela, será possível produzir: medicamentos mais eficazes, materiais mais resistentes, computadores com maior capacidade de armazenagem etc (TECNOLOGIA...,2013).

Os benefícios da nanotecnologia vão desde salvar vidas, avanços para a redução de impactos ambientais, desenvolvimento de novas aplicações e até mesmo, melhorar a performance de produtos utilizados no dia a dia (COMUNICAÇÃO..., 2012).

Há grande expectativa dos benefícios que a nanotecnologia combinada com conhecimentos de física, química, genética, tecnologias de informação e comunicação e ciências cognitivas podem proporcionar à medicina, computação, meio ambiente etc (RATTNER, 2004).

Há muito tempo, a ciência busca a miniaturização. Em 1946 quando o primeiro computador foi apresentado, ele pesava 30 toneladas e ocupava todo o andar de um edifício. Para sua fabricação, foram utilizadas 18 mil válvulas e Thomas Watson, então diretor da IBM previu que haveria mercado para venda de apenas 5 exemplares no mundo. Porém, anos mais tarde, com a invenção do transistor, a IBM lança o primeiro disk drive, com capacidade de 5 megabytes e com o tamanho de uma geladeira doméstica. Hoje, um processador típico, contém milhões de transistores em dimensões micrométricas (TOMA, 2004, p.11-12).

Atualmente, a nanotecnologia é uma das principais linhas de pesquisa dos cientistas nos países industrializados e estima-se que, entre 2010 e 2015, o mercado de nanomateriais mundial será de US\$ 1 trilhão. (MARTINS et al., 2007, p. 56).

A necessidade de gerar um número crescente de nanoestruturas se deve não somente pelo fato da redução na dimensão das estruturas, mas também possibilidade de formar estruturas complexas capazes de desempenhar funções também complexas (MARTINS et al., 2007, p. 57).

Uma revolução vem ocorrendo na ciência e tecnologia desde que se entendeu que um material em escala nanométrica apresenta propriedades e comportamentos diferentes daqueles já conhecidos em escala macroscópica (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006, p. 13).

Estas propriedades podem mudar significativamente devido aos efeitos quânticos e ao aumento da relação superfície/ massa. Algumas características que podem ser alteradas são: condutividade elétrica, elasticidade, resistência, alteração de cor e capacidade de penetração (ARCURI; GROSSI, 2013).

São apontados diversos benefícios dos nanomateriais, porém, um ponto de grande preocupação a ser considerado é que a alteração em algumas propriedades podem causar interações ainda desconhecidas aos sistemas biológicos. Devido ao aumento na permeabilidade por meio da pele, mucosas e membranas, alguns estudos sugerem maior toxicidade das nanopartículas do que das mesmas substâncias em escala macro. Ainda não há dados suficientes no que se refere aos efeitos à saúde humana, meio ambiente, toxicidade,

deposição, destino e susceptibilidade das várias espécies vivas a estes materiais (ARCURI; GROSSI, 2013).

Sendo assim, este trabalho tem como propósito a compilação e discussão de informações publicadas mundialmente sobre os impactos que os nanomateriais podem apresentar à saúde e ao meio ambiente.

2 A SEGURANÇA DOS NANOMATERIAIS:

Muito se fala dos aspectos positivos da nanotecnologia, divulgando-se que o seu desenvolvimento é o único caminho para acabar com a fome, a pobreza, reduzir o consumo de matérias-primas, aumentar a reciclagem etc. Ou seja, seria a solução para muitos problemas sociais e ecológicos. Entretanto, ainda há muitas perguntas sem resposta, principalmente no que tange aos impactos à saúde e ao meio ambiente (NANOTEKNOLOGIA..., 2009).

Afinal o que está se estudando e o que está se fazendo? Quem faz as pesquisas e com que objetivo? Quem arcará com os custos? Pretende-se seriamente melhorar a qualidade de vida de todos? (RATTNER, 2004)

Os nanomateriais apresentam propriedades de comportamentos específicos, sendo impossível fazer uma avaliação genérica dos riscos à saúde e ao meio ambiente (NANOTEKNOLOGIA..., 2009).

Cada novo material deveria passar por avaliações de segurança antes de ser liberado para uso comercial.

Nanomateriais podem ser mais tóxicos que as versões maiores de um mesmo composto. As nanopartículas têm uma superfície enorme proporcionalmente à sua massa (seu peso). Por causa disso, elas apresentam maior reatividade química, mais atividade biológica e uma maior ação catalisadora quando se comparam com partículas macro da mesma composição química. Como os nanomateriais podem ter uma biodisponibilidade mais elevada do que as partículas macro, eles são mais absorvidos pelas células, pelos tecidos e pelos órgãos. Nanomateriais com a mesma composição química que tenham tamanhos ou formas diferentes, podem ter toxicidades completamente distintas (NANOTEKNOLOGIA..., 2009).

Devido ao seu tamanho, as nanopartículas podem penetrar através da corrente sanguínea e da pele sem que o sistema imunológico consiga detectá-las. Sendo assim, elas fogem dos mecanismos de controle e proteção do corpo, atravessando membranas como a da placenta e a do cérebro (NANOTEKNOLOGIA..., 2009).

Não é somente o tamanho que é relevante, mas uma série de outras propriedades, tais como a forma, distribuição, reatividade, propriedades fotoquímicas, etc. Existe uma grande preocupação com as nanopartículas insolúveis que apresentam os maiores riscos (ARCURI, 2012).

Nas discussões sobre as nanotecnologias, distingue-se a fabricação controlada de nanosistemas funcionais, utilizados para fabricar: nanotubos, nanopartículas construídas, e nanosuperfícies. Nesta discussão vêm à tona, os produtos residuais não intencionais (partículas liberadas por combustão) e partículas livres que entram no corpo humano, sedimentando-se em alguns órgãos. Estas partículas em nanoescala entram no corpo humano através do aparelho digestivo, respiratório ou pela pele. Uma vez no organismo elas se deslocam por órgãos e tecidos e podem transpor barreiras da circulação do sangue, entrar no cérebro e criar sérios riscos à saúde (exemplo: vapores de polímeros que causam danos aos pulmões) (RATTNER, 2004).

Quando se considera o nível atômico, não se distingue a matéria viva da não-viva, o que representa que o organismos vivos não seriam capazes de rejeitar matéria inanimada, pois

não identificariam que estas não fazem parte da sua constituição biológica. Diversos estudos mostraram que nanomateriais sintéticos em contato com tecidos vivos, causaram inflamação, dano ao tecido, ao DNA e o posterior crescimento de tumores. Também se observou que estas nanopartículas afetam negativamente as funções celulares chegando até à morte celular (NANOTECNOLOGIA..., 2009).

No entanto, o foco das atenções são as nanopartículas engenheiradas (feitas artificialmente) a tal ponto que hoje já existe um novo ramo do conhecimento conhecido por nanotoxicologia. O importante é salientar que no caso de nanopartículas a área superficial é uma métrica muito mais significativa para os efeitos toxicológicos do que a massa, desta forma, os atuais limites de exposição, baseados na massa, não podem ser usados. Ressalta-se a propriedade de as nanopartículas poderem ser vetores de outras substâncias tóxicas assim como esta mesma característica é usada para aplicação seletiva de medicamentos. (ARCURI, 2012)

Estudos revelam que nanopartículas estão sendo utilizadas em tudo, de cerveja às bebidas de bebês, sem se saber ao certo se estes produtos são realmente seguros à saúde. Garrafas de cerveja Miller Brewing Co, tem o plástico permeado com nanopartículas, o que as torna mais resistentes à quebra e aumenta a durabilidade da cerveja na fase da armazenagem. Com o objetivo de matar micróbios, uma ampla variedade de itens de cozinha e limpeza possuem partículas de prata em nanoescala. No entanto, o grupo ambiental Friends of Earth, relatou que nenhum dos mais de 100 produtos de comida ou relacionados à comida que eles identificaram a presença de nanopartículas, possuíam advertências no rótulo ou tinham passado por testes de segurança em agências governamentais. (RIBOLDI, 2009, p.14).

Assim como para a saúde humana, não há dados suficientes no que tange aos efeitos ecológicos, deposição, destino e à suscetibilidade de várias espécies vivas a estes materiais. As rotas de exposição podem variar de acordo com o ambiente ecológico: solo, sedimento, água ou atmosfera. No que se refere à degradação e à acumulação, é importante entender o destino dos nanomateriais no ambiente para que se consiga compreender a exposição de seres humanos e outros organismos (ARCURI; GROSSI, 2013).

Para que pesquisas possam ser realizadas, um obstáculo a ser vencido é que ainda não há consenso com relação aos métodos utilizados para os testes. Sabe-se que, muitos destes, terão que ser modificados e outros terão que ser desenvolvidos (ARCURI; GROSSI, 2013).

Em um estudo publicado na revista Nature Technology, mostrou que nanopartículas de cromo-cobalto danificaram o DNA de fibroblastos sem ao menos entrar em contato com eles. A explicação está na ativação de cascata de sinalização celular. Porém, a concentração utilizada no estudo foi muito alta e, em condições normais, esta exposição seria bastante improvável. Vale também ressaltar, que não podemos considerar que este seja o impacto esperado para todos os materiais em nanoescala, visto que os efeitos biológicos variam muito conforme o tipo de material. Atualmente, as propostas de classificação de nanomateriais têm se baseado na biodegradabilidade de seus componentes, no tamanho médio das partículas e nas características de sua superfície. Também se considera que, enquanto não está estabelecida uma forma genérica de se analisar o comportamento destes materiais, deve-se estudar caso a caso (POLETTTO, 2010).

É necessário o emprego do Princípio da precaução, mesmo porque as diretrizes e regulamentações relativas à produção, consumo e fiscalização de alimentos, drogas e cosméticos, bem como as condições de segurança nos locais de trabalho e o meio ambiente, são consideradas insuficientes.

2.1 Princípio da precaução

De acordo com convenções internacionais, entende-se por Princípio da Precaução: “Quando alguma atividade ameaça a saúde humana ou o meio ambiente, medidas de precaução devem ser tomadas, inclusive quando as relações de causa e efeito não são totalmente estabelecidas de maneira científica (NANOACTION, 2007, p. 4)”.

Este princípio deve ser empregado quando falamos de nanotecnologia, atribuindo responsabilidade àqueles que realizam atividades com nanotecnologia que possam gerar danos e que estes, promovam a participação pública nos processos de decisão de suas aplicações. Também deve ser considerada a proibição de comercialização de uso de nanomateriais não provados, assim como, exigir dos fabricantes o compromisso de que os produtos apresentem baixo risco. É necessária uma completa avaliação dos nanomateriais antes de sua comercialização e, além disso, recursos devem ser destinados para pesquisas de produtos, processos e usos de materiais de menor risco (NANOACTION, 2007, p. 4).

O conhecimento atual sugere que a exposição a certos nanomateriais, nano-aparelhos ou produtos derivados da nanobiotecnologia, pode causar danos significativos à saúde e ao meio ambiente. A nanoescala pode dotá-los de propriedades físicas, químicas e biológicas inovadoras, entretanto, a mobilidade, a alta reatividade e outras propriedades podem ser responsáveis por efeitos toxicológicos desconhecidos (NANOACTION, 2007, p. 4).

Sendo assim, se faz necessário que durante o processo de avaliação do risco, se considere as propriedades exclusivas dos nanomateriais, ou seja, não se pode estudar e prognosticar o potencial de toxicidade com relação ao perfil de massa total dos compostos, isto é, sem estar em nano-forma. As regulamentações baseadas no princípio da precaução são críticas para os novos desenvolvimentos, onde os efeitos a longo prazo ainda são desconhecidos. Não é aceitável que o princípio da precaução seja ignorado utilizando como justificativa a falta de dados ou de evidências de riscos ou danos específicos (NANOACTION, 2007, p. 4).

2.2 Princípio de proteção e saúde do público e dos trabalhadores

É imprescindível que a regulamentação dê ênfase imediata na prevenção da exposição já conhecida e até mesmo na potencial dos nanomateriais perigosos ou àqueles que ainda não são comprovadamente seguros (NANOACTION, 2007, p. 6)

Os nanomateriais que estão no ar, também conhecidos como nanopartículas livres, merecem atenção especial, pois podem entrar no corpo, atravessar a membrana celular e causar danos aos tecidos. As nanopartículas encapsuladas ou integradas também devem ser alvo de preocupação. O trabalhador fica exposto durante o processo de fabricação, enquanto que o público e o meio ambiente, durante o descarte ou reciclagem. Devido ao seu tamanho, as nanopartículas podem atravessar as membranas biológicas, células, tecido e órgãos. Um exemplo, é que quando estas partículas são inaladas, elas podem passar dos pulmões para o sistema sanguíneo. Há também evidências do comportamento destes materiais na pele, podendo penetrar e tendo assim, acesso ao sistema circulatório. Quando ingeridas, as nanopartículas podem chegar ao sistema circulatório atravessando as paredes gastrointestinais. Se isso ocorre, elas podem se infiltrar em órgãos e tecidos, interferindo no funcionamento celular normal, o que pode resultar em oxidação e eventualmente em morte celular (NANOACTION, 2007, p. 6)

Atualmente, pessoas estão sendo expostas diariamente aos nanomateriais e a causa disso, é a falta de apoio do governo às pesquisas de risco à saúde que estes materiais apresentam. Os trabalhadores estão mais expostos e conseqüentemente, correm maior risco de sofrerem danos à saúde (NANOACTION, 2007, p. 6)

Estima-se que, em 2015, a indústria da nanotecnologia empregará 2 milhões de trabalhadores e, até agora, há uma grande carência de regulamentações nesta área e ainda não estão disponíveis métodos aceitáveis para medir a exposição aos nanomateriais no ambiente

de trabalho. Sendo assim, se faz necessário que os procedimentos e os padrões de proteção e saúde atualmente adotados sejam objetos de pesquisa que possibilitem sua adequação (NANOACTION, 2007, p. 6).

2.3 Princípio da sustentabilidade ambiental

Antes da comercialização de um nanomaterial, é necessário que se faça uma avaliação do seu ciclo de vida – incluindo fabricação, transporte, uso, reciclagem e eliminação dos resíduos para que se observem seus efeitos sobre o meio ambiente, à saúde e a segurança. Devido à mobilidade e a persistência no solo, água e ar, bioacumulação e interações com materiais químicos e biológicos, os produtos com nanomateriais representam uma classe sem precedentes de contaminantes fabricados (NANOACTION, 2007, p. 7).

A liberação no meio ambiente de nanopartículas e nanotubos de carbono deve ser sempre evitada e as empresas e laboratórios de pesquisa devem tratar estes materiais como perigosos, procurando reduzir o seu uso e eliminá-los dos sistemas de resíduos (recomendação da Real Sociedade do Reino Unido) (NANOACTION, 2007, p. 7).

Atualmente, não se investe muito em pesquisa para avaliação dos riscos destes materiais ao meio ambiente e, por isso, fundos governamentais para estes estudos precisam ser aumentados drasticamente. Quando falamos de nanomateriais, é muito difícil a aplicação de um sistema de proteção ambiental, pois as agências carecem de instrumentos e mecanismos adequados para detectar, monitorar, medir e controlar a produção e principalmente, de meios para removê-los do ambiente) (NANOACTION, 2007, p. 7).

2.4 Princípio da transparência

Os riscos inerentes na introdução de novas tecnologias exigem um diálogo constante com a sociedade civil – os “stakeholders” que sofrem os riscos, mas nem sempre os benefícios da nanotecnologia. Outros atores, industriais, cientistas e administradores devem ouvir o público, num sistema de comunicação de duas vias. (RATTNER, 2004)

A transparência deve ser um item chave na avaliação e regulação dos nanomateriais. O público e os trabalhadores têm o direito de conseguir identificar os produtos que contenham nanopartículas, bem como as medidas de proteção à saúde e segurança. O direito ao saber inclui o direito de possuir conhecimento que possibilite a tomar decisões bem informadas. Os fabricantes precisam informar nos rótulos a presença em seus artigos de nanomateriais, bem como, dos riscos que estes materiais apresentam (NANOACTION, 2007, p. 8).

2.5 Princípio da responsabilidade do produtor

Atualmente, os produtos que contém nanomateriais são veiculados no mercado como substâncias milagrosas que possuem propriedades específicas, o que os têm tornado, objeto de desejo de milhares de consumidores. A grande preocupação é que, como ocorreu com o amianto, ainda estão disponíveis poucos estudos sobre os impactos que estes produtos trazem à saúde e ao meio ambiente (NANOACTION, 2007, p. 11).

Os nanomateriais estão sendo comercializados maciçamente e estão presentes em produtos de uso rotineiro, sem qualquer advertência ou informação sobre os seus riscos. Devem ser responsabilizados pelos danos causados por estes materiais, não só os produtores, mas também pessoas que os desenvolvem, e que os vendem. É necessária a criação de regulamentações que considerem mecanismos de financiamento, custeados pelos fabricantes e distribuidores, que permitam o acesso às compensações para resolver problemas de saúde ou meio ambiente causados por estes produtos (NANOACTION, 2007, p. 11).

Portanto, todas as pessoas envolvidas no processo de comercialização de um nanomaterial, devem ser responsáveis pela segurança destes produtos e por qualquer dano decorrente da falta de medidas de precaução para proteger o público e o meio ambiente (NANOACTION, 2007, p. 11).

3 POLÍTICAS DE CONTROLE

Ainda é grande a carência de leis que regulamentem a produção, comercialização e uso de nanomateriais, mas muito se tem discutido a este respeito.

A OECD, *Organisation for Economic Co-operation and Development*, dá assistência entre outras coisas, na implementação de políticas que garantam o desenvolvimento responsável da nanotecnologia. Com o programa intitulado *OECD's Working Party of Manufactured Nanomaterials* (WPMN), busca garantir que a abordagem ao perigo, exposição e avaliação de risco de nanomateriais seja feita com embasamento científico, padronização e harmonização internacional (OECD, 2011).

Este programa tem focado na geração de métodos e estratégias através:

- da criação de um banco de dados com informações de pesquisas nas áreas de saúde humana, meio ambiente e segurança: o objetivo é ser utilizado como um recurso global para projetos de pesquisa;
- do teste de nanomateriais específicos: o objetivo é providenciar dados intrínsecos dos nanomateriais, propriedades únicas para os materiais em nanoescala;
- da promoção da cooperação em programas voluntários e regulatórios;
- da mediação da cooperação internacional nas estratégias de avaliação de risco;
- da promoção do uso sustentável ambientalmente através do aumento de conhecimento dos aspectos do ciclo de vida dos nanomateriais manufaturados. (OECD, 2011).

3.1 Europa

Na Europa, a Comissão Europeia adotou um código de conduta para pesquisas responsáveis de nanociência e nanotecnologia.

Em 3 de outubro de 2012, a Comissão adotou a Comunicação da Segunda Revisão Regulatória de Nanotecnologia. Nele está descrito o plano da comissão para melhorar a lei europeia e suas aplicações, para garantir o uso seguro de nanomateriais, incluindo aspectos de segurança, uma visão geral das informações disponíveis sobre os nanomateriais já disponíveis no mercado, incluindo seus benefícios e riscos (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

Em 18 de outubro de 2011, a Comissão adotou uma recomendação para a definição de um nanomaterial. De acordo com esta recomendação, um nanomaterial é:

Um material natural, incidental ou fabricado, que contém partículas num estado desagregado ou na forma de um agregado ou de um aglomerado, e em cuja distribuição número-tamanho 50 % ou mais das partículas têm uma ou mais dimensões externas na gama de tamanhos compreendidos entre 1 nm e 100 nm. Em casos específicos e sempre que tal se justifique devido a preocupações ambientais e ligadas à saúde, segurança e competitividade, o limiar da distribuição número-tamanho de 50 % pode ser substituído por um limiar compreendido entre 1 e 50 % (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

Estima-se que o volume de produtos a base de nanomateriais cresça de 200.000 milhões de euros para 2 bilhões de euros entre 2009 e 2015. Estas aplicações serão de grande importância para a competitividade de muitos produtos da Europa no mercado global.

Atualmente, a nanotecnologia gera entre 300.000 e 400.000 empregos diretos na Europa com forte tendência para aumentar (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

Desde 2004, o *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks* (SCENIHR), o *Scientific Committee on Consumer Safety* (SCCS), o *European Food Safety Authority* (EFSA) e a *European Medicines Agency* (EMA) têm trabalhado para a avaliação dos riscos dos nanomateriais. Em 2009, SCENIHR concluiu que apesar das muitas metodologias de avaliação de risco para a saúde humana e para o meio ambiente serem amplamente utilizadas e aplicáveis aos nanomateriais, devido a alguns aspectos específicos dos nanomateriais, ainda há carência de estudos e que está situação manter-se-á até a obtenção de mais dados científicos para a caracterização dos efeitos nocivos dos nanomateriais nos seres humanos e no ambiente (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

Relatou-se também que foram observados diversos perigos dos nanomateriais fabricados para a saúde e meio ambiente. Porém, deve salientar-se que, nem todos os nanomateriais induzem a efeitos tóxicos. Alguns nanomateriais, por exemplo, o negro de fumo e o Dióxido de Titânio, já estão sendo utilizado há décadas e mostram baixa toxicidade. Sendo assim, a hipótese de que as substâncias menores são mais reativas e, por conseguinte, mais tóxicas, não pode ser justificadas com as publicações disponíveis. A este respeito, tem-se que os nanomateriais são semelhantes aos produtos químicos ou às substâncias normais, em que alguns podem ser tóxicos e outros não. Uma vez que ainda não existe uma definição clara de como deve ser identificado os perigos dos nanomateriais, ainda se faz necessária uma avaliação caso a caso (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

A EFSA em seu parecer científico em 2011, que a avaliação de risco de produtos alimentares normalizados é igualmente adequada para as aplicações de nanomateriais nas cadeias alimentares humanas e animal e a necessidade da abordagem caso a caso. Esta abordagem é feita através do sistema de aprovação, baseado na legislação sobre alimentação humana e animal e é realizada antes da colocação do produto no mercado. O mesmo foi feito pela EMA, no que se refere à medicamentos (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

A OECD está promovendo a harmonização e normalização de métodos de ensaio em apoio as avaliação de risco de nanomateriais. A investigação sobre a segurança e desenvolvimento de métodos de ensaio confiáveis é uma prioridade para a União Européia (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

De acordo com o REACH, *Registration, Evaluation, Authorization (and Restriction) of Chemicals*", as substâncias químicas comercializadas na Europa devem, na maioria dos casos, serem registradas na ECHA, *European Chemicals Agency*, demonstrando sua utilização segura. Dependendo de suas características, qualquer substância pode estar sujeita à autorização ou restrição. O REACH se aplica da mesma forma às substâncias para as quais todas ou algumas formas são nanomateriais (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

Muitas substâncias possuem diversas formas e, de acordo com o Reach, quando isto ocorrer, um único registro é necessário. Contudo, o registrante precisa garantir a segurança de todas as formas incluídas e fornecer informações apropriadas a fim de tratar as diferentes formas no registro. Os requisitos do REACH se aplicam à tonelagem total da substância. Até fevereiro de 2012, 7 registros de substâncias e 18 notificações tinham selecionado "nanomaterial" como a forma do material. Uma nova avaliação identificou outras substâncias com nanofórmulas (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

Em geral, nos registros há pouca informação especificamente para a segurança do nanomaterial, o que pode ser explicado pela falta de orientações detalhadas destinadas aos registrantes sobre o registro de nanomateriais.

Quando houver mais experiência da avaliação dos registos, a ECHA deve emitir orientações sobre o tratamento de nanomateriais como formas de uma substância à escala macroscópica ou como substâncias distintas com o objetivo de permitir a partilha eficaz de dados. Os resultados do projeto de implementação do REACH sobre identificação de nanomateriais ou da substância sugerem, no entanto, que será necessária alguma flexibilidade. Quer as substâncias em nanoformas tenham sido tratadas em um ou vários registos, a questão principal para a Comissão continua a ser a de saber se o registo fornece informações claras sobre a utilização segura para todas as formas da substância (NANOTECHNOLOGY..., 2012)

Neste contexto, questão que persiste é saber em que medida os dados de uma forma da substância podem ser utilizados para demonstrar a segurança de outra forma. Sendo assim, é necessária uma abordagem caso a caso, onde:

- É exigida clareza, para saber se e quais formas da substância estão cobertas pelo registo. Estas nanoformas precisam estar adequadamente caracterizadas e o usuário precisa conseguir identificar as medidas de controle de risco que são aplicáveis.

- As condições de ensaio devem ser adequadamente documentadas e fornecidas informações sobre as formas testadas da substância.

- Quando é feita a avaliação de segurança química em um registo, deve ser levado em consideração todas as formas da substância.

A ECHA criou um grupo de avaliação dos nanomateriais já registados, que considera alguns registos de nanomateriais importantes, em cooperação com a Comissão, com os peritos dos Estados-Membros e com as partes interessadas. O objetivo consiste em identificar as melhores práticas de avaliação e de notificação dos nanomateriais no âmbito dos registos REACH e em elaborar recomendações sobre a forma de preencher eventuais lacunas de informação. Além disso, a ECHA criou um grupo de trabalho sobre nanomateriais para dar aconselhamento sobre questões científicas e técnicas em relação aos nanomateriais, no âmbito do REACH. (NANOTECHNOLOGY..., 2012).

3.2 França

Entrou em vigor na França em 1º de janeiro de 2013 uma regulamentação sobre nanomateriais. Esta requer que todos que utilizem ou trabalhem com nanopartículas (quantidade < 100 gramas) notifiquem o Ministério da Ecologia, Desenvolvimento Sustentável e da Energia através de um relatório. (REGULAÇÃO...,2013)

Esta regulamentação se refere:

- às substâncias na forma nanoparticulada;
- às substâncias como tal ou em misturas;
- aos materiais destinados a liberar nanomateriais em condições normais de utilização;

Esta regulamentação é aplicável:

- aos produtores;
- aos importadores;
- aos distribuidores;
- aos utilizadores (REGULAÇÃO...,2013).

A declaração deve ser feita até o dia 1º de maio de cada ano e deve incluir as seguintes informações:

- identificação da substância
- quantidade e uso dessas substâncias
- identidade dos profissionais para os quais foram cedidas essas substâncias

- informações sobre os perigos das substâncias e as possíveis exposições (REGULAÇÃO...,2013).

Estas declarações serão gerenciadas pela Agência Nacional de Segurança Sanitária da Alimentação, Ambiente e Trabalho – a ANSES. Estes documentos serão colocados à disposição de certos órgãos, como:

- Agência Francesa de Segurança Sanitária dos Produtos de Saúde – AFSSAPS
- Instituto Nacional de Vigilância Sanitária – INVS
- Instituto Nacional de Pesquisa e Segurança – INPS (22) (REGULAÇÃO...,2013).

3.3 Canadá

O CSA Group, *Canadian Standards Association Group*, é uma associação independente, sem fins lucrativos e uma das principais organizações no desenvolvimento de padrões, testes e certificação dedicada à segurança, bem-estar social e sustentabilidade (PRIMEIRA..., 2013)

A CSA Z12885, *Nanotechnologies – Exposure control program for engineered nanomaterials in occupational settings* oferece orientações sobre o uso seguro de nanomateriais no ambiente de trabalho (PRIMEIRA..., 2013).

A CSA Z12885 segue abordagens reconhecidas para a gestão de riscos, com foco na informação e em questões específicas afeitas às tecnologias, incluindo a identificação dos perigos, procedimentos de avaliação de riscos, necessidades de treinamento e engajamento do trabalhador. A CSA Z12885 contém revisões da ISO/TR 12885 e orientação adicional que refletem práticas canadenses e considerações de segurança. (30)

A pesquisa sobre transporte, persistência e toxicidade dos nanomateriais, nos seres humanos e no ambiente, está em curso para assegurar o uso responsável e seguro da tecnologia. Esta norma foi anunciada para os industriais e interessados, na recente Nano Conferência Nano Ontario 2012, em Waterloo, Ontario, Canadá. O desenvolvimento desta norma se tornou possível pelo suporte financeiro da *Alberta Innovates Technology Futures – nanoAlberta*, *Health Canada*, *MDEIE (Développement Economique, Innovation et Exportation – Gouvernement du Quebec)* e pelo *National REsearch Council Canada – Industrial REsearch Assistance Programme* (PRIMEIRA..., 2013)

3.4 Brasil

O Brasil começou a investir em nanotecnologia no final da década de 90. Este investimento começou muito tarde, se compararmos com países como os EUA, onde os estudos começaram em meados da década de 60. Nos anos de 2000-2003, a nanotecnologia entrou na pauta de investimentos do governo no Plano Plurianual (PPA). No PPA de 2004-2007, esta área ganhou um programa específico. Atualmente, o Brasil está entre as dez nações do mundo que mais investem em patentes de fertilizantes à base de nanotecnologia do mundo (L.,2013).

De acordo com os dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, em 2005 o investimento correspondia à R\$ 7,5 bilhões. Em 2007, o valor quase dobrou: foram R\$ 12 bilhões. Em seis anos, chega a uma média de R\$ 23,3 bilhões por ano. Porém, esses investimentos são concentrados na área de fertilizantes, visto que o Brasil é um dos maiores consumidores desses produtos no mundo. O país investe pouco no setor de produtos nanoestruturados (L.,2013).

O Brasil construiu um sistema de ciência e tecnologia que se caracteriza pela quase excelência do ponto de vista dos padrões conhecidos nos países em desenvolvimento, muitas

vezes até, se equiparando aos países desenvolvidos em certas áreas de pesquisa. Porém, o desempenho do Brasil é bem menos satisfatório na transposição de descobertas, inovações e resultados do saber científico para o campo da pesquisa aplicada. Estas insuficiências resultam uma deficiente cultura patentária e um preconceito latente na academia (ALMEIDA, 2005),

O Brasil é um dos países onde os estudos com nanotecnologia têm crescido com maior rapidez (ficando atrás apenas de Cingapura e Coréia do Sul), porém os recursos não estão sendo distribuídos de forma igualitária. De acordo com Paulo Martins, coordenador da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio ambiente (Renanossoma), a área estudos dos impactos é negligenciada no Brasil. Ainda segundo Martins, os recursos são adequados para as ciências de produção, mas não, para os estudos dos impactos que a nanotecnologia pode gerar no meio ambiente, na sociedade e na saúde do trabalhador (L.,2013)

Apenas em setembro de 2011, foi liberado um edital para estudos dos efeitos toxicológicos da nanotecnologia, correspondente a cerca de R\$ 3,8 milhões e representa 0,01% do total de investimentos no país. O valor é cerca de 0,1% do valor que é aplicado nos Estados Unidos *pela National Nanotechnology Initiative* (NNI), órgão que regula as pesquisas americanas na área, e que pretende dobrar o valor do investimento, que atualmente é de 4% do total de recursos (cerca de 0,25% do PIB americano) (L.,2013).

4 CONCLUSÃO

A nanotecnologia tem aplicações importantíssimas para sociedade, entretanto, é necessário ponderar os riscos que este avanço na ciência pode acarretar. Não é aceitável alegar falta de dados ou de evidências de danos, visto que nestes casos, o princípio da precaução deve ser adotado.

As nanopartículas possuem uma área superficial enorme se considerar a sua massa e, com isso, apresentam um aumento significativo em sua reatividade, atividade biológica e biodisponibilidade. Um mesmo material em macro escala, pode possuir toxicidade completamente distinta do que em nano escala.

Ainda é grande a carência de informações sobre o risco que as nanopartículas representam às pessoas e ao meio ambiente e, no entanto, é necessário que os governos invistam cada vez mais em pesquisas nas áreas toxicológicas, ecotoxicológicas e desenvolvimento de métodos de testes específicos para nanomateriais.

Atualmente, o incentivo aos estudos destinados às aplicações da nanotecnologia ainda é muito maior do que os dedicados a desvendar os riscos destes materiais. Torna-se fundamental exigir do governo a criação de legislações que tratem dos riscos associados à nanotecnologia. É necessário que os nanomateriais sejam submetidos à uma nova avaliação de risco, mesmo quando as propriedades dos mesmo produtos em macroescala sejam bem conhecidas.

O princípio da transparência deve ser adotado e os rótulos precisam conter informações sobre os nanomateriais. Pois, o consumidor deve ter o direito ao saber e o direito de tomar decisões bem informadas. Observa-se que os governos já se movem nesse sentido e países como a França, já fazem diversas exigências referentes à avaliação de risco antes da comercialização de nanomateriais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. R. *O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial*. Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.espacoacademico.com.br/052/52almeida.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

ARCURI, A. S. A.; GROSSI, M. G. Nanotecnologia e o meio ambiente. Disponível em: <http://www.qualicipa.com.br/blog/nanotecnologia-e-o-meio-ambiente> > . Acesso em: 13 abril 2013.

ARCURI, A. S. A.; Nanotecnologia e impactos à saúde e meio ambiente. Disponível em: http://nanotecnologiadoavesso.blogspot.com/2012/10/ix-seminario-internacionalnanotecnologi_31.html. Acesso em: 13 abril 2013.

ASKELAND, D.R; PHULÉ, P.P. *Ciência e Engenharia dos materiais*. 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008, p 20.

COMUNICAÇÃO da comissão ao parlamento europeu, ao conselho e ao comité económico e social europeu, *Segunda revisão regulamentar relativa a nanomateriais*, 03 out. 2012. Disponível em:

<<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0572:FIN:pt:PDF>>. Acesso em: 13 abril 2013

DURÁN, N.; MATOSSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. 1.ed. São Paulo: Artliber, 2006.

L.,M.A. *Nanotecnologia: uma ameaça invisível*. Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.advivo.com.br/blog/luisnassif/as-pesquisas-em-nanotecnologia-no-brasil>>. Acesso em: 22 mai. 2013.

MARTINS, P. R. et al. *Revolução Invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil*. 1. Ed. São Paulo: Xamã, 2007.

NANOACTION. Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais. 2007.

NANOTECONOLOGIA: a manipulação do invisível. Centro Ecológico, 2009. Disponível em:

<http://www.fundacentro.gov.br/dominios/NANO/anexos/Revistas%20Impressas/Nanotecnologia_Manipulao%20do%20Invisivel.pdf>. Acesso em: 13 abril 2013.

NANOTECONOLOGY. *Regulatory Aspects: second regulatory review 2012*. União Européia, 2012. Disponível em: http://ec.europa.eu/nanotechnology/policies_en.html>. Acesso em 20 mai. 2013.

OECD. *Nanosafety at OECD: the first five years 2006-2010*. France, 2011. Disponível em: <http://www.oecd.org/env/ehs/nanosafety/47104296.pdf>> Acesso em 20 mai. 2013.

POLETTI, F. *Nanotoxicologia*. 2010. Disponível em: http://scienceblogs.com.br/balamagica/2010/01/nanotoxicologia/?utm_source=feedburner&u

[tm_medium=feed&utm_campaign=Feed%253A%20bala-magica%20%2528Bala%20M%25C3%25A1gica%2529](http://www.abdi.com.br/Publicaes/Biotecnologia/NanoEmFoco/2012/Dezembro/dezembro12_4.htm)>. Acesso em 19 fev. 2013.

PRIMEIRA Norma Canadense sobre as nanotecnologias. Canadá, 2013. Disponível em: http://www.abdi.com.br/Publicaes/Biotecnologia/NanoEmFoco/2012/Dezembro/dezembro12_4.htm>. Acesso em: 22 mai. 2013.

RATTNER, H. Nanotecnologia – para melhor ou para pior? *Revista Espaço Acadêmico*, v. 41

REGULAÇÃO da Nanotecnologia. França, 2013. Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2012/lqes_news_novidades_1630.html> Acesso em 22 mai. 2013.

RIBOLDI, B. M.; PIMENTEL, J. R. *Nanotecnologia: Fundamentos e Aplicações*. Rio Claro, 2009. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/showdefisica/ensino/Nanotecnologia.pdf> Acesso em 19 fev. 2013.

TECNOLOGIA de ponta. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/ciencia-e-tecnologia/tecnologia-de-ponta/nanotecnologia> >. Acesso em: 20 mai. 2013.

TOMA, H. E. *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.