

NANOTECNOLOGIAS E O *SAFE BY DESIGN*: BUSCANDO ALTERNATIVAS PARA A GESTÃO DOS RISCOS¹

NANOTECHNOLOGIES AND THE *SAFE BY DESIGN*: SEEKING ALTERNATIVES FOR RISK MANAGEMENT

Raquel Von Hohendorff²

RESUMO: A quarta Revolução Industrial trouxe mudanças históricas em termos de tamanho, velocidade e escopo, cujos desdobramentos e complexidade ainda são desconhecidos. O que se sabe é que existe a responsabilidade de que os diferentes setores da sociedade trabalhem em conjunto para compreender melhor estas tendências emergentes, de forma a lidar de um modo sustentável com os riscos destas inovações. Entre as inovações está a utilização industrial da escala nanométrica, que está avançando rapidamente sem que se tenha uma certeza científica sobre a segurança das nanopartículas e sem que a área jurídica tenha construído marco regulatório específico. O avanço das nanotecnologias, num conjunto crescente de aplicações, começa a integrar o cotidiano da sociedade brasileira e mundial. Por outro lado, as pesquisas e os produtos, que advirão desta intervenção humana nas forças naturais, exigirão a atuação dos diferentes sistemas, com a avaliação dos impactos sociais, éticos e regulatórios emergentes, suportados por um modelo de inovação que deverá ser responsável e sustentável, pois há incerteza quanto aos riscos nanotecnológicos. Através do uso do método sistêmico-constructivista que considera a realidade como uma construção de um observador, analisando todas as peculiaridades implicadas na observação, se desenvolve este artigo, objetivando inicialmente dar a conhecer o nano novo mundo, posteriormente destacando alguns aspectos acerca dos riscos nanotecnológicos (ainda um tanto quanto desconhecidos) e, apresentando a ferramenta do *safe by design* como uma alternativa para a gestão do risco face à ausência regulatória específica, objetivando o desenvolvimento sustentável, preocupado com aspectos éticos, legais e sociais, desta inovação tecnológica.

Palavras Chave: Nanotecnologias; riscos; gestão, Direito, *safe by design*.

ABSTRACT: The fourth Industrial Revolution brought historical changes in terms of size, speed and scope, whose ramifications and complexity are still unknown. What is known is that there is a responsibility for the different sectors of society to work together to better understand these emerging trends in order to deal in a sustainable

1 Este artigo é parte dos resultados parciais do Projeto de Pesquisa “A Autorregulação da gestão final dos resíduos nanotecnológicos”, Edital 02/2017, Pesquisador Gaúcho, FAPERGS.

2Doutora em Direito Público do Programa de Pós-Graduação em Direito - UNISINOS/RS; Professora do Programa de Pós-Graduação em Direito - UNISINOS/RS; Integrante do Grupo JusNano (CNPQ); Advogada; Email: vetraq@gmail.com.

manner with the risks of these innovations. Among the innovations is the industrial use of the nanometric scale, which is rapidly advancing without any scientific certainty about the safety of nanoparticles and without the legal area having built a specific regulatory framework. The advance of nanotechnologies, in a growing set of applications, begins to integrate the daily life of the Brazilian and world societies. On the other hand, the research and products that will come from this human intervention in the natural forces will require the performance of different systems, with the evaluation of the emerging social, ethical and regulatory impacts supported by a model of innovation that should be responsible and sustainable, once there is uncertainty about nanotechnological risks. Through the use of the systemic-constructivist method which considers reality as a construction of an observer, analyzing all the peculiarities implied in the observation, this article is developed, aiming initially to make known the new world nano, subsequently highlighting some aspects about nanotechnological risks (still somewhat unknown), and presenting the tool of safe by design as an alternative to risk management in the face of specific regulatory absence, aiming at sustainable development, concerned with ethical, legal and social aspects of this technological innovation.

Keywords: Nanotechnologies; risks; management, law, safe by design.

1. INTRODUÇÃO

Sobre os impactos e expansão dos avanços tecnológicos, a chamada Quarta Revolução Industrial (Schwab, 2016), tratam-se de mudanças históricas em termos de tamanho, velocidade e escopo e ainda não se sabe os desdobramentos destas transformações, sua complexidade e interdependência. Mas, o que se sabe é que todas as partes interessadas da sociedade global - governo, empresas, universidades e sociedade civil - têm a responsabilidade de trabalhar em conjunto para compreender melhor estas tendências emergentes, bem como para lidar de um modo sustentável com os riscos destas inovações.

As transformações da sociedade atual são maiores do que se pode prever, e ainda mais profundas e rápidas do que em qualquer outro momento. Assim, o cenário atual apresenta-se como desafio para novas análises, estudos e pesquisas (Rocha, Martini, 2016).

A utilização industrial da escala nanométrica está avançando rapidamente sem que se tenha uma certeza científica sobre a segurança das nanopartículas e sem que a área jurídica tenha construído marco regulatório específico. As nanotecnologias vêm acompanhada de incertezas científicas quanto seus efeitos e (possíveis?) danos futuros ao meio ambiente e vida humana. Veja-se a perspectiva de crescimento que se projeta:

“O mercado global de nanotecnologia deve chegar a US\$ 90,5 bilhões em 2021, de US\$ 39,2 bilhões em 2016 com uma taxa de crescimento anual composta de 18,2%” (McWilliams, 2016).

O mundo na escala nano sempre existiu integrando a natureza, mas somente a partir da metade para o final do Século XX, o ser humano conseguiu acessar esta ordem de grandeza, visualizando a bilionésima parte de um metro. Observa-se no cotidiano da vida humana o consumo cada vez maior de inúmeros novos produtos com nanotecnologia, nas mais diversas áreas. Os produtos e setores onde se podem encontrar nanopartículas são: alimentação; aparelhos domésticos; medicina; petróleo; impressoras; energias renováveis; esporte e fitness; têxteis; agricultura; automotivo; construção; cosméticos; eletrônicos, bem como a utilização para fins ambientais (Introduction, 2017). Inclusive esse amplo rol é aberto devido ao processo contínuo de desenvolvimento das nanotecnologias. Tais produtos trazem a promessa de benefícios e utilidades nunca antes pensados, despertando nos consumidores e sociedade em geral a curiosidade. Desta maneira, o consumo destas criações em escala nano vêm sendo cada vez maior, com um universo de novidades despejadas no mercado diariamente.

Contudo, muito embora o desenvolvimento desta nanotecnologia venha alcançando contornos significativos, não há regulação específica. Segundo Engelmann (2015, p.350), “[...] o Direito deverá construir as bases para um conjunto normativo de acompanhamento, assessoramento e recompensas pela implementação das condutas mais aceitáveis em relação à gestão do risco nanotecnológico”.

Como as nanopartículas são muito pequenas, medindo menos de um centésimo de bilionésimo de metro, são regidos por leis físicas muito diferentes daquelas com as quais a ciência está acostumada. Existem probabilidades de que as nanopartículas apresentem grau de toxicidade maior do que as partículas em tamanhos normais, podendo assim ocasionar riscos à saúde e segurança de pesquisadores, trabalhadores e consumidores.

É preciso um Direito crítico, capaz de fazer leituras da realidade e apto a provocar as mudanças necessárias nesta realidade, sob pena de restar isolado das outras áreas do conhecimento, que se utilizarão dos espaços vazios deixados pelo Direito, para atuarem, inclusive em questões regulatórias.

O desenvolvimento destas tecnologias gera impactos éticos, legais e sociais importantes, relacionados também ao princípio da precaução e informação, bem como

reflexos nas relações de trabalho e no meio ambiente. Não há como se imaginar avanços científicos e tecnológicos, além de econômicos, alicerçados sobre retrocesso social em termos de saúde e de proteção. Para que o Direito consiga dar conta dos desafios trazidos pelos avanços das nanotecnologias deverá abrir-se para dois caminhos: perpassar outras áreas do conhecimento que poderão ajudá-lo a compreender a complexidade das realidades que as nanotecnologias viabilizarão e deixar ingressar as ideias vindas de outras áreas e saberes. Esta será a condição de possibilidade para a inovação *no/do* jurídico na *Era Nanotech*.

Assim, o avanço das nanotecnologias, num conjunto crescente de aplicações, começa a integrar o cotidiano da sociedade brasileira e mundial. Por outro lado, as pesquisas e os produtos, que advirão desta intervenção humana nas forças naturais, exigirão a atuação dos diferentes sistemas, com a avaliação dos impactos sociais, éticos e regulatórios emergentes, suportados por um modelo de inovação que deverá ser responsável e sustentável, pois há incerteza quanto aos riscos nanotecnológicos.

Para o desenvolvimento deste artigo será usado o método sistêmico-construtivista que considera a realidade como uma construção de um observador, analisando todas as peculiaridades implicadas na observação. É um método que parte de uma observação complexa de segunda-ordem, pressupondo reflexões que são estabelecidas a partir de um conjunto de categorias teóricas, próprias da Matriz Pragmático-Sistêmica, que guardam uma coerência teórica auto-referencial. Trata-se de uma estratégia autopoietica de reflexão jurídica sobre as próprias condições de produção de sentido, bem como as possibilidades de compreensão das múltiplas dinâmicas comunicativas diferenciadas em um ambiente complexo, como é o gerado pelas nanotecnologias.

Além disso, essa abordagem pressupõe a compreensão do Direito enquanto um sistema social autopoietico, cujas operações são comunicativas, desenvolvidas através de processos de tomada de decisões elaborados no interior de certa organização jurídica.

É na perspectiva sistêmico-funcionalista que se pretende estabelecer este elo de ligação entre o problema e uma solução a ser construída, notadamente pela observação dos marcos normativos capazes de dar conta dos desafios trazidos pelas nanotecnologias. Esse método é propício para o desenvolvimento tendente ao movimento que vai do interdisciplinar para tentativas transdisciplinares, já que pretende lidar com ação de vários níveis de realidade, de semânticas diversas.

2.APRESENTANDO O NANO NOVO MUNDO:

“As mudanças são tão profundas que, na perspectiva da história da humanidade, nunca houve um momento tão potencialmente promissor ou perigoso”(Schwab, 2016, p.12).

A Quarta Revolução Industrial, que já está em curso, desde a virada do século, trata de inovações tecnológicas como a inteligência artificial, a robótica, a internet das coisas, veículos autônomos, impressões em 3 D, nanotecnologias, biotecnologias, armazenamento de energia e computação quântica. O que a distingue das três revoluções anteriores é a velocidade, a amplitude e a profundidade, além da fusão de tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos (Schwab, 2016). Quanto à velocidade, esta evolui em um ritmo exponencial e não linear, como resultado do mundo multifacetado e profundamente interconectado em que vivemos; em relação à amplitude e profundidade, como tem por base a revolução digital e combina várias tecnologias, gera uma mudança de paradigma sem precedentes não apenas na economia, mas também na sociedade e nos indivíduos. Ainda, quanto ao *impacto sistêmico*: ela envolve a transformações de sistemas inteiros entre países e dentro deles, em organizações, indústrias e em toda sociedade (Schwab, 2016).

A nanotecnologia é o conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação, obtida graças às especiais propriedades da matéria organizada a partir de estruturas de dimensões nanométricas. A expressão nanotecnologia deriva do prefixo grego *nános*, que significa anão, *techne* que equivale a ofício, e *logos* que expressa conhecimento. Atualmente, a tecnologia em escala nano traz consigo muitas incertezas, especialmente concernentes aos riscos altamente nocivos à saúde e ao meio ambiente (Durán, Mattoso, 2006).

A nanotecnologia exibe um alto grau de interdisciplinaridade. Biólogos, químicos, físicos, médicos e engenheiros contribuem com suas experiências e idéias para gerar aplicações e produtos inovadores para a sociedade. Isso requer uma colaboração intensiva baseada na divisão do trabalho e um alto nível de compreensão de outras disciplinas (Germany, 2016).

Como ocorre frequentemente com as inovações, é difícil saber para onde os avanços em novos materiais poderão conduzir o mundo. Um novo material em escala nano, como o

grafeno, que é cerca de 200 vezes mais forte que o aço, milhões de vezes mais fino que um cabelo humano e um eficiente condutor de calor e eletricidade (Isaiah, 2015), quando se tornar financeiramente competitivo (grama a grama, ele é um dos materiais mais caros do mundo; 1 micrômetro custa mais de US\$ 1.000), poderá causar rupturas nas indústrias de fabricação e infraestrutura (Laskow, 2014).

Se, por um lado, ainda não se conhecem os desdobramentos das transformações geradas por essas revoluções, por outro, a complexidade e a interconexão entre os setores implicam que todos os atores da sociedade global - governos, organizações, universidade e sociedade civil - necessitam trabalhar em conjunto para melhor enfrentamento da realidade, e, assim, o conhecimento compartilhado passa a ser condição *sine qua non* para que se possa enfrentar este novo futuro(Schwab, 2016).

O termo *nanotecnologia* tem despertado controvérsias acerca das medidas que devem ser consideradas para a categorização de um produto ou processo que esteja sendo trabalhado na nano escala. Portanto, deve-se partir de uma padronização e assim, adota-se aqui a definição desenvolvida pela *International Organization for Standardization* (ISO) - ISO/TC 229 onde se verificam duas características fundamentais: a) produtos ou processos que estejam tipicamente, mas não exclusivamente, abaixo de 100nm (cem nanômetros); e b) nesta escala, as propriedades físico-químicas devem ser diferentes dos produtos ou processos que estejam em escalas maiores (ISO/ TC 229, 2005).

Para dar uma ideia desta escala, um fio cabelo humano está entre 10.000 a 100 000 nm, um único glóbulo vermelho tem diâmetro de cerca de 5.000 nm, os vírus normalmente têm dimensão máxima de 10 nm a 100 nm e uma molécula de ácido desoxirribonucleico (DNA) tem diâmetro de cerca de 2nm. O termo *nanotecnologia* pode ser enganador, uma vez que não é uma única tecnologia ou disciplina científica. Em vez disso, é um agrupamento multidisciplinar de processos, materiais, aplicações e conceitos físicos, químicos, biológicos, de engenharia e eletrônicos em que a característica definidora é tamanho (ISO, 2017).

Nano é uma medida, não um objeto, ou seja, engloba “[...] a habilidade de trabalhar a nível molecular, átomo por átomo, criando estruturas com organizações moleculares diferentes e explorando as novas propriedades exibidas em tal escala” (Engelmann, Cardoso, 2010), cujas partículas correspondem à ordem de 1-100

nanômetros (o que equivale a 0,000000001 metros), os quais não podem ser vistos a olho nu.

Estas tecnologias correspondem à investigação e ao desenvolvimento tecnológico em nível atômico, molecular ou macromolecular em uma escala de comprimento de cerca de um a cem nanômetros em qualquer dimensão; à criação e à utilização de estruturas, dispositivos e sistemas que possuem novas propriedades e funções por causa de seu tamanho reduzido; e, à capacidade de controlar ou manipular a matéria em escala atômica (United States, 2007).

Invernizi et al. (2016) realizaram pesquisa sobre as contribuições das investigações latino americanas em nanotecnologia, voltadas para medicina, energia e água e demonstraram que as informações analisadas revelam grandes disparidades regionais, com uma forte concentração de atividades no Brasil, e depois o México, que são os maiores países com trajetórias científicas sistemáticas. Em uma situação intermediária estão a Argentina, o Chile e a Colômbia tendendo a fortalecer e a vários outros países com mais competências fragmentadas. Por outro lado, os dados mostram uma fraca colaboração regional, mais bilateral do que na rede. Na verdade, os acordos internacionais poderiam estimular projetos de redes em torno de questões-chave com impacto social geral para todos os países da região.

No Brasil os investimentos estão ocorrendo de forma bastante crescente. No panorama nacional, verifica-se o estudo realizado em 2015, através de publicação do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), de coordenação de Marcial - onde debateram as *Megatendências Mundiais para 2030*, com os atuais questionamentos sobre o que as entidades e personalidades mundiais pensam sobre o mundo - verificou-se o crescimento dos investimentos e aplicação no campo da nanotecnologia e biotecnologia (Marcial, 2015).

Até 2030, haverá manutenção da revolução tecnológica, integrando a biotecnologia, a nanotecnologia, as TIC e as tecnologias dos materiais em ritmo acelerado. Os avanços em áreas como novos materiais e bioengenharia estão mudando os princípios farmacêuticos e de cuidados médicos no que diz respeito a inovações em produtos e serviços para saúde humana. No campo da medicina, principalmente nos países desenvolvidos, há alta probabilidade de haver forte avanço em gerontologia e tecnologias genéticas, com uso de nanochips e tecnologia de microsensores, transplantes de órgãos, células nervosas, retina etc., que permitirá um aumento substancial na vida média humana (Rockefeller Foundation e GBN, 2010). A convergência tecnológica também pode ser observada no campo energético [...]. No entanto, o ritmo de transformação tecnológica é difícil de prever e algumas novas tecnologias necessitam de estudo mais aprofundados e de estratégias de investimento,

dado seu potencial impacto sobre o desenvolvimento humano. São exemplos disso o uso da biotecnologia e da nanotecnologia na geração de energia (EuropeanCommission, 2011). Tudo indica, por exemplo, que a energia solar será muito mais eficiente no futuro. Essa eficiência ocorrerá em função dos avanços nos materiais utilizados, incluindo polímeros e nanopartículas. (Marcial, 2015).

Uma equipe da *University of Central Florida* (UCF) desenvolveu um novo nanomaterial híbrido que aproveita a energia solar para gerar hidrogênio da água do mar que poderia ser usado para uma nova fonte de combustível de queima limpa, enquanto alivia a demanda por combustíveis fósseis. Os pesquisadores usaram um fotocatalisador- um material que estimula uma reação química usando energia leve e durável o suficiente para lidar com a biomassa e sal corrosivo da água do mar. Para conseguir isso, eles usaram um catalisador que conseguiu não só colher um espectro de luz muito mais amplo do que outros materiais, mas também suportar as duras condições da água do mar (Nanotecnologia, 2017).

Produzir um combustível químico a partir de energia solar é uma solução melhor do que produzir eletricidade a partir de painéis solares porque a eletricidade deve ser usada ou armazenada em baterias que se degradam, enquanto o gás hidrogênio é facilmente armazenado e transportado. Os pesquisadores agora se concentrarão em ampliar a fabricação e melhorar seu desempenho (Nanotecnologia, 2017).

Outro exemplo de criação de novos materiais vem da Universidade de Tóquio. Ao combinar o mesmo pigmento azul prussiano usado nas obras do popular artista de época (Hokusai) e nanofibra de celulose, uma matéria-prima de papel, uma equipe de pesquisa da Universidade de Tóquio conseguiu sintetizar nanopartículas compostas, contendo substâncias orgânicas e inorgânicas. Esta nova classe de nanopartículas compósitas orgânicas / inorgânicas é capaz de adsorver seletivamente, ou coletar na superfície, césio radioativo. A equipe posteriormente desenvolveu esponjas dessas nanopartículas que se mostraram altamente efetivas na descontaminação da água e do solo na Prefeitura de Fukushima, exposta à radioatividade após o acidente nuclear em março de 2011 (Vipin, 2016).

Pode-se perceber que as inúmeras possibilidades de criação com novos materiais são incríveis e parecem ser matéria de ficção.

Duas das nanopartículas mais comuns são titânio (TiO_2) e sílica (SiO_2). Rashwan e Sereda (2016) relatam modificações de suas superfícies com grupos orgânicos e inorgânicos que melhoram significativamente a utilidade desses materiais

como ingredientes em protetores solares e pastas dentais. Assim, a funcionalização das nanopartículas de titânio e sílica melhora sua adesão à dentina humana, com possíveis aplicações para o tratamento da hipersensibilidade dentária por oclusão de túbulos dentinários e portadores de remineralização e outros componentes ativos. Além disso, os modificadores orgânicos e inorgânicos também podem suprimir a fotodegradação e facilitar o uso da sílica modificada e titânia em formulações de protetor solar.

Sobre o uso de nanotecnologias em cosméticos, tema que atrai a atenção quando se verifica que o Brasil é o terceiro maior consumidor mundial destes produtos, o grupo de Pesquisa JUSNANO, da Unisinos, capitaneado pelo professor Engelmann produziu um excelente material (livro e história em quadrinhos) para divulgar o tema.³

Na área de alimentos e agricultura as inovações também são surpreendentes. Cheng et al. (2016) revisam muitos estudos de pesquisa e desenvolvimento envolvendo nanotecnologia na agricultura. Por exemplo, no manejo do solo, as aplicações relatadas incluem nanofertilizantes, aglutinantes do solo, auxiliares de retenção de água e monitores de nutrientes. Nas plantas, os métodos de nanotecnologia fornecem DNA para células vegetais, melhoram a absorção de nutrientes, detectam patógenos das plantas e regulam os hormônios das plantas. Nos animais, as nanocápsulas entregam vacinas e melhoram a entrega de nutrientes. São relatadas inúmeras aplicações pós-colheita, incluindo a geração de nanocelulose de resíduos agrícolas. Do mesmo modo, na área relacionada com a alimentação, a nanotecnologia é explorada ativamente (por exemplo) em processamento de alimentos, embalagens, sistemas *nanocarrier* para nutrientes e suplementos, aditivos nanosificados para alimentos e ração, nanofilmes em superfícies de contato com alimentos, nanosensores para rotulagem de alimentos e descontaminação de água.

Neste panorama, destacam-se diversas características das nanotecnologias, tais como: as propriedades incomuns de nanopartículas são principalmente baseadas em seu tamanho em nano escala e sua área de superfície. À medida que o tamanho de uma partícula diminui e se aproxima da nano escala, muitas propriedades começam a mudar

³Em projeto com apoio da FAPERGS, entre 2013 e 2015, foi produzido um livro, contendo os resultados do projeto de pesquisa. ENGELMANN, Wilson (Org.). **Nanocosméticos e o direito à informação:** construindo os elementos e as condições para aproximar o desenvolvimento tecnocientífico na escala nano da necessidade de informar o público consumidor. Erechim: Deviant, 2015. Além deste livro, também se produziu uma História em Quadrinhos, mostrando, por meio de uma linguagem acessível ao leigo e de forma lúdica, as características das nanotecnologias aplicadas aos cosméticos, seus riscos e possibilidades regulatórias. ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias nos cosméticos.** Erechim: Deviant, 2015. (Nanotecnologias nos cosméticos, n. 5). Texto em quadrinhos.

em comparação com o mesmo material no seu tamanho macro. Cita-se, como exemplo, a cor e a temperatura de fusão do ouro, as quais são muito diferentes em nano escala que em ouro convencional. Os efeitos tóxicos de materiais que se mostram como inertes na escala macro, também são muito diferentes na escala nano. Como a área de superfície de partículas aumenta uma maior proporção dos seus átomos ou moléculas começar a ser exibida na superfície, em vez de o interior do material. Existe uma relação inversa entre o tamanho das partículas e o número de moléculas presente na superfície da partícula. O aumento na área de superfície determina o número potencial de grupos reativos sobre a partícula. A alteração das propriedades físico-químicas e estruturais das nanopartículas com uma diminuição do tamanho poderá ser responsável por uma série de interações materiais que podem levar a efeitos toxicológicos.

Quanto mais larga for a utilização da nano escala na indústria, maior será a quantidade de produtos colocados à disposição do consumidor. Qual o motivo da preocupação? Por meio de equipamentos especializados, em condições de interagir com o nível atômico, se geram produtos com características físico-químicas diferentes daquelas encontradas no seu similar na escala macro. Aliado a esse aspecto, inexistente regulação específica para as nanotecnologias ao longo do ciclo de vida de um nanomaterial.

3.RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

Os riscos são, em grande parte, desconhecidos e os danos futuros incertos, mas a decisão precisa ser realizada no presente, através da utilização destas novas ferramentas surgidas pela incorporação da ideia de que o conhecimento não poderá mais ficar aprisionado nos limites herméticos de cada campo do saber. Desta forma, é neste tempo em que se deve observar e construir modelos jurídicos permeados tanto pela certeza quanto pela incerteza em relação às expectativas sociais que são continuamente frustradas / satisfeitas por meio da complexidade social em permanente incremento (Rocha, Martini, 2016).

Portanto, a questão não está em não decidir, mas sim em promover mais investigações para criar um caminho do risco à segurança, ainda que a prática mostre que quanto mais se conhece e se podem elaborar cálculos cada vez mais complexos, mais aspectos se conhecem e, com eles, mais incertezas e, conseqüentemente, mais riscos (Luhmann, 2006).

O momento atual vivido pela comunidade humana traz novidades e desafios, muitos dos quais sem precedentes e, por isso, com consequências - positivas e negativas - incalculáveis. Sem dúvida, a imaginação criativa humana viabiliza a projeção e o desenvolvimento de artefatos que poderão ser muito úteis, possibilitando uma vida mais confortável. No entanto, o motor da imaginação - que se tem denominado de inovação - tem levado o ser humano a ingressar em campos, desde sempre existentes na natureza, mas acessíveis ao ser humano justamente como decorrência da *inquietante natureza humana*.

Embora hoje os benefícios das nanotecnologias dominem o nosso pensamento, o potencial desta tecnologia para resultados indesejáveis na saúde humana e no meio ambiente não deve ser menosprezado, eis que, em razão do tamanho os materiais passam a ser regidos por leis físicas muito diferentes daquelas com as quais a ciência está habituada, abrindo possibilidades de que as nanopartículas apresentem maior grau de toxicidade do que em tamanhos maiores, esta é a razão pela qual existe a necessidade de se avaliar os riscos que existem decorrentes da manipulação, desenvolvimento e aplicação destas novas tecnologias, observando a toxicidade, os métodos apropriados para testes em toxicidade, bem como os impactos na saúde humana e ambiental (Hohendorff, Engelmann, 2014).

Atualmente vem ocorrendo um aumento de publicações e pesquisas sobre riscos das nanopartículas (Kulinowski, 2015) e esse conjunto de publicações igualmente deverá ser considerado, pois representa o que já se sabe sobre o comportamento de algumas partículas quando manipuladas em escala nanométrica. Até 2008, o governo federal dos EUA estava injetando quase US \$ 60 milhões por ano em pesquisas de saúde e sobre os impactos ambientais da nanotecnologia. Em 2016 as agências federais dos EUA propuseram investir US\$ 105,4 milhões em pesquisas para entender e abordar potenciais riscos da nanotecnologia para o meio ambiente e saúde. Isto representa um aumento maciço de 80% em comparação com oito anos anteriores, e reflete as preocupações em curso sobre o que não se sabe respeito dos riscos potenciais de materiais em nanoescala propositadamente desenhados e engenheirados (Maynard, 2016).

A atual situação dos nanomateriais e da nanotecnologia em relação à toxicologia é incerta e complexa, pois demanda soluções que usem o conhecimento atual disponível para atenuar riscos, ao mesmo tempo em que se mantém o foco no aprendizado de

variáveis essenciais que afetam a exposição, a toxicidade e o risco. O impacto ecológico e social da tecnologia resulta do uso de diversos produtos já comercializados e descartados no meio ambiente (Berti, 2016). Os efeitos das nanopartículas nos seres humanos e no ambiente são complexos e variam com base nas propriedades das partículas, bem como na toxicidade química. No entanto, em contraste com a rápida pesquisa e desenvolvimento em novas propriedades, materiais e possibilidades das nanotecnologias, a pesquisa para suportar avaliações de risco abrangentes geralmente está atrasada. Há preocupações sobre as áreas de superfície maiores e diferentes formas e interatividade que alguns nanomateriais possuem - o que pode fazer com que eles reajam de forma diferente às suas contrapartes *macro*, *meso* ou *micro*. Devido ao seu pequeno tamanho, as barreiras biológicas nem sempre são um obstáculo para as nanopartículas - como a barreira hematoencefálica ou a barreira placentária entre mãe e feto. Praticamente falando, medir e quantificar nanomateriais em situações reais é um desafio. Na maioria dos casos, eles não são diretamente detectáveis por métodos analíticos regulares devido à sua concentração muito baixa no organismo e/ou ambiente estudado. E, mesmo que detectado, há dificuldades em diferenciar entre os nanomateriais que ocorrem naturalmente e os nanomateriais engenheirados. Além disso, a maioria dos estudos *in vitro* e *in vivo* realizados até agora são apenas estudos de curto prazo, enquanto os impactos na saúde humana e no meio ambiente são, em muitos casos, mais propensos a ocorrer após uma longa exposição. Conseqüentemente existe uma necessidade urgente de estudos de exposição em longo prazo (European Commission, 2017).

A utilização de uma abordagem adaptativa com análise interativa de níveis crescentes de entendimento, habilidade e quantização apresenta uma evolução importante na avaliação e no gerenciamento de riscos de nanomateriais. Com isso pode-se ao longo do tempo ir adaptando novas informações e decisões sobre as incertezas, de modo a identificar e priorizar ações necessárias sobre os riscos nanotecnológicos para a saúde e para o meio ambiente. Este enfoque de avaliação adaptativa de ciclo de vida foi desenvolvido para a tomada de decisões em processos que têm impacto ambiental, sendo inerente à sua natureza estabelecer uma condição do tipo ganha-ganha para os aspectos econômicos, ambientais e sociais, também denominado tripé da sustentabilidade (Berti, 2016). Desta forma, pensando na ideia do princípio do desenvolvimento sustentável, as relações econômicas de uma sociedade precisam necessariamente atender a um comportamento ecossocial, e, assim, as atividades

empresariais em nível mundial precisam passar a ser gerenciadas como eram nas antigas civilizações helênicas, não se gastando mais do que se possui, nem removendo da natureza mais do que se pode repor (Catalan, 2008) .

4. O USO DO *SAFE BY DESIGN* PARA A GESTÃO DO RISCO

As estratégias de mitigação de risco podem ser focadas na redução da toxicidade das partículas ou na redução da exposição, ou preferencialmente ambas. Além disso, a exposição pode ocorrer por caminhos diferentes: exposição direta (ocupacional, consumidor e / ou ambiente) ou indireta (exposição geral da população através do meio ambiente), cada uma com a sua própria medidas de mitigação. Assim, podem ser aplicadas medidas de mitigação muito diversas e podem ser agrupadas em três estratégias gerais diferentes (Stone, 2017):

- a) *safe by design*: concepção e síntese de materiais mais seguros (menos perigosos, mais compatíveis com a matriz, menos persistentes no ambiente) sem afetar suas principais funcionalidades;
- b) controle de exposição ocupacional: reduzindo a exposição potencial dos trabalhadores usando medidas que reduzam a concentração de partículas no local de trabalho ou usando equipamentos de proteção pessoal;
- c) gerenciamento de resíduos: reduzir o potencial de exposição ambiental (e exposição através do meio ambiente) mediante a aplicação de novos e conhecidos processos de tratamento de resíduos, incluindo propostas para a implementação de estratégias de reciclagem.

As abordagens de *safe by design* pretendem o *re-design* e o refinamento de materiais com nanopartículas para mitigar seu potencial risco, mantendo as propriedades desejadas que os tornam atraentes para vários fins. Isso envolve:

- a) identificação da(s) característica(s) que tornam os nanomateriais potencialmente tóxicos;
- b) avaliação das propriedades desejadas e como elas estão correlacionadas com os recursos dos nanomateriais identificados;
- c) *re-design* da estratégia de síntese em termos de composição, morfologia, estrutura e química de superfície de nanomateriais. (Stone, 2017)

A segurança por estratégias de *design* baseadas na engenharia de superfície dos nanomateriais têm a possibilidade real de controlar a exposição e potencial de risco, atenuando o risco ocupacional. A partir deste ponto de vista, o SbD é mais uma

abordagem de gerenciamento de riscos do que uma abordagem de avaliação de risco, no entanto, pode existir e ser desenvolvido apenas se as características do nanomateriais que influenciam a liberação, a exposição, o destino / cinética, o risco e a bioacumulação tenham sido identificados com a maior informação possível (Stone, 2017).

Uma das diretrizes do projeto Horizonte 2020 da União Europeia é a NMBP-15-2019: *safe by design* (Katalagarianakis, 2017), da ciência para regulamentação: métricas e principais setores, cujo objetivo específico é manter claro que a gestão de riscos envolve risco de quantificação (toxicidade) e exposição e tomar as medidas necessárias para reduzir o risco a níveis aceitáveis, idealmente em um estágio inicial do processo de desenvolvimento de nanomateriais (*safe by design*) em vários setores industriais, mas em particular para materiais estruturais ou funcionais, revestimentos e cosméticos e áreas de tecnologia farmacêutica e de saúde que já estão atualmente procurando maneiras de mitigar possíveis riscos de nanomateriais e produtos que contenham nano. O desafio agora é refinar métodos existentes para monitoramento e modelagem de propriedades físico-químicas e avaliação de efeitos biológicos de nanomateriais em condições de uso relevantes, incluindo em matrizes relevantes para o produto. Ainda, espera-se através do *safe by design* reduzir o risco e a exposição através do projeto a um nível de risco aceitável sem afetar o desempenho do material e orientar o desenvolvimento de produtos mais seguros em diferentes estágios e aqui é prevista uma cooperação específica entre a União Europeia e os EUA através da NNI, onde os aspectos jurídicos, de formulação de políticas e de Pesquisa Responsável e Inovação devem ser integrados. O impacto esperado é que o *safe by design* seja utilizado desde a fase inicial dos processos de desenvolvimento de nanomateriais; que os locais de trabalho melhorem de qualidade e garantam o máximo de desempenho econômico em linha com níveis de risco aceitáveis; que ocorra o controle e mitigação da exposição ao nível de risco aceitável no caso após a liberação de nanomateriais a partir de produtos; e que sejam desenvolvidas e validadas técnicas de baixo custo para a realização de uma avaliação integrada de riscos orientada para exposição e o *design* associado do monitoramento de pós-uso necessário.

Cabe aos desenvolvedores de produtos a tarefa de ter conhecimento de meio eficientes de controle de qualidade e segurança de seus produtos e serviços, mas também que exista uma preocupação de colocar no mercado bens que atendam “[...] não somente a exigências e anseios dos consumidores, mas que atendam a diretrizes,

princípios e práticas vinculadas à diminuição dos impactos negativos sobre a qualidade do meio ambiente e de seus componentes” (Santos, Pereira, 2017). E isso é uma forma de demonstração da tarefa do *safe by design*: comunicar entre o Direito e a Ciência, de modo que os riscos nanotecnológicos sejam melhor compreendidos e em função disso, melhor manejados, objetivando um desenvolvimento das nanotecnologias voltado à sustentabilidade.

Pode-se dizer que o *safe by design* tem como objetivos então, a produção de nanomateriais mais seguros, a aplicação da melhor técnica disponível (como forma de aplicação do princípio da precaução), a identificação de incertezas e potenciais de risco em fases bem iniciais de desenvolvimento do produto, um gerenciamento ativo para a redução/eliminação dos potenciais riscos nanotecnológicos, a transparência em relação aos dados e informações relevantes para a segurança e ainda, também pode ser considerada uma excelente ferramenta de *marketing* positivo quanto à segurança e preocupação dos produtores em relação aos consumidores e ao meio ambiente, em busca da sustentabilidade.

Em uma perspectiva organizacional, a Figura 1 demonstra claramente quais são as vantagens da aplicação da ferramenta do *safe by design*:

Figura 1 - Vantagens da aplicação do SbD (perspectiva organizacional)



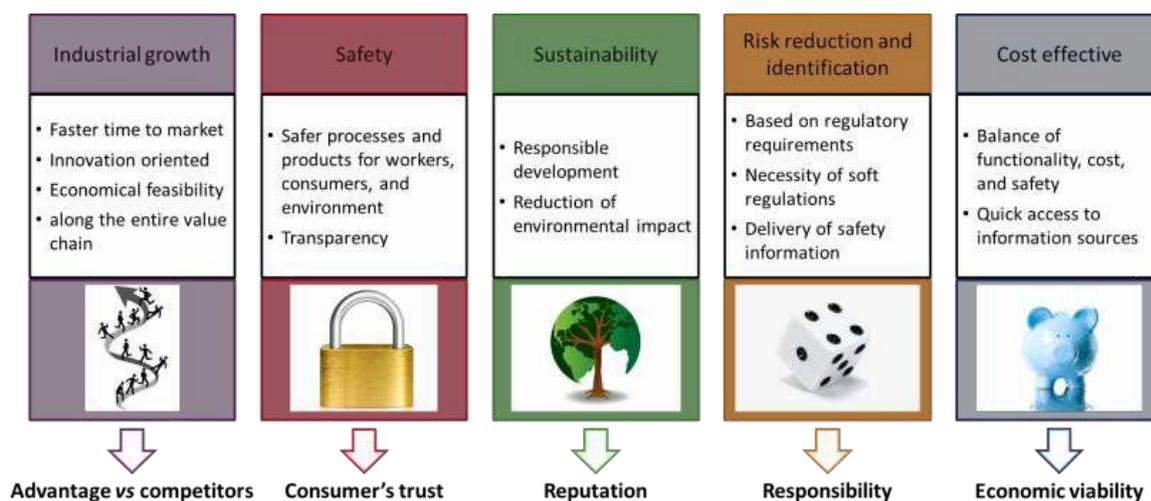
Fonte: Skentelbery, 2017.

Como fica claro na imagem, os principais benefícios para um empresário que se utiliza desta ferramenta podem ser assim caracterizados: a redução do tempo necessário para a pesquisa e desenvolvimento de produtos, pois considera a segurança desde o

início, a questão econômica, de custo efetivo da inovação, a maior velocidade de elaboração do produto para ser lançado ao mercado, eis que ao longo de todo o desenvolvimento do produto os aspectos de segurança foram considerados, a produção de produtos mais seguros e portanto mais aceitos pelo mercado consumidor bem como a preparação para futuros desafios regulatórios, pois usou-se a melhor técnica disponível. Também é preciso considerar que esta imagem foi utilizada em um contexto de um webinar para empresários, promovido pela Associação de Indústrias Nanotecnológicas (NIA). (Skentelbery, 2017).

A Figura 2 demonstra algumas das vantagens da ferramenta do *safe by design* através da ótica de diferentes observadores e também foi apresentada no mesmo evento mencionado acima.

Figura 2 - Benefícios do uso do *safe by design*



Fonte: Suarez-Merino, Schlotter, Höhener, 2017.

Observa-se que as vantagens vão desde questões econômicas, de balanço entre custo, funcionalidade e segurança, passando pelas questões dos riscos e das informações, a questão da transparência, dos aspectos mais voltados ao empresário⁴ que

⁴ Segundo Weyermüller, “[...] não há que se esperar atitudes puramente ambientalistas dos agentes econômicos, pois o mercado está inserido em um sistema que demonstra ser incompatível com os princípios que regem a ciência ambiental. As atitudes baseadas na política ambiental, quando tomadas certamente são com o intuito de oportunidade de destaque no mercado. Assim, a própria decisão tomada em termos de cuidado com o ambiente é parte integrante da mesma lógica sistêmica que retira do ambiente elementos, os

adotar esta ferramenta, até chegar à sustentabilidade, através do desenvolvimento e da redução do impacto ao meio ambiente.

A aceitação por parte do consumidor de diferentes aplicações da nanotecnologia provavelmente será um determinante chave que influenciará seu futuro desenvolvimento e trajetória de implementação. Os potenciais benefícios econômicos e sociais da nanotecnologia podem não ser realizados se as respostas sociais à sua aplicação não forem adequadamente abordadas no início do processo de desenvolvimento de produtos. As preferências e prioridades do consumidor quanto à implementação da regulamentação destinada a otimizar a proteção do consumidor e do meio ambiente e as características potenciais dos produtos de consumo devem ser devidamente avaliadas ao formular regulamentos, políticas e questões de *design* relacionadas à nanotecnologia (Gupta, Fisher, Frewer, 2015). A Figura 2 demonstra esta preocupação dos consumidores, bem como o quanto o uso da ferramenta do *safe by design* significa a transparência da questão da segurança ao longo do projeto.

5. CONCLUSÕES

A área emergente da nanotecnologia oferece promessa para o futuro. Para que este tipo de foco no projeto preventivo ocorra, será necessária uma transição cultural: que os químicos e os desenvolvedores de materiais sejam educados em saúde, segurança e meio ambiente; que ambiente, saúde e segurança se tornam preocupações de qualidade no desenvolvimento de novos materiais, iguais às considerações econômicas e de desempenho; que a pesquisa sobre a sustentabilidade dos materiais seja financiada a níveis suficientemente significativos para identificar alertas antecipados; e que os sistemas regulatórios oferecem incentivos para materiais mais seguros e sustentáveis.

É crucial que a comunicação sobre a nanosegurança incentive a tradução de novas descobertas relacionadas à segurança para as principais preocupações industriais, com a filosofia empresarial, para que o conceito de promoção de *design* de segurança possa ser facilmente explicado e aceito pelas diferentes partes interessadas, incluindo o público em geral. Esta é uma área importante de pesquisa e inovações, mas seus resultados não devem ser obscurecidos pela má comunicação.

transforma e os vende com o objetivo principal de ser viável e sustentável economicamente". WEYERMÜLLER, André Rafael. **Água e adaptação ambiental**: o pagamento pelo seu uso como instrumento econômico e jurídico de proteção. Curitiba: Juruá, 2014, p. 420-421.

Os aspectos da responsabilidade social e ambiental da organização também perpassam pela ideia do safe no sentido de colocar no mercado um produto mais seguro. O cuidado com o meio ambiente e com os seres humanos, através da adoção de condutas de gestão de riscos e precaucionais, pode ser percebido na forma como as organizações se comportam com relação aos seus consumidores e na comunidade em que estão inseridas. Organizações de sucesso devem adotar uma visão abrangente da gestão do risco, que possam considerar o modo de se proteger quanto alguns riscos, quais os riscos devem ser explorados e a maneira de explorá-los (Damodaran, 2009).

A ética organizacional tem um papel, direto e indireto na construção do desenvolvimento econômico e suas influencias abrangem uma ampla variedade de temas, incluindo “[...] a proteção do meio ambiente e a sustentabilidade; o fortalecimento dos direitos humanos juntamente com o propósito de eliminar a pobreza [...]” (Sen, 2007, p.53). Castells (2007) contribui com o debate acerca da ética organizacional expondo que nas organizações discute-se também a aplicação da consciência ecológica no processo de negócio, passando por todo o processo de produção. Esse é um problema de consciência, não de dificuldade técnica. E, nesse sentido, em última análise, é uma questão ética. Antonik (2016, p.214) expõe que responsabilidade social e ambiental pode ser compreendida como “[...] tudo aquilo que envolve fatores ligados à sociedade e ao meio ambiente. Na área empresarial, trata-se da responsabilidade da organização para com a sociedade e o meio ambiente, além de seus compromissos legais (*compliance*) econômico-financeiros”. (grifo do autor).

Assim, emergem mudanças para o modelo de organização cidadã, preocupada com a pesquisa e inovação responsáveis e com os aspectos éticos, legais e sociais, tendo como objetivo maior uma evolução sustentável. São mudanças estruturais que leva da hierarquia à corresponsabilidade; uma mudança na cultura organizativa; a reconfiguração ética do mundo do trabalho, como uma exigência para lidar com os riscos incertos e desconhecidos que as nanotecnologias poderão trazer e o reposicionamento do balanço social, que não representa somente o balanço econômico da organização, mas “[...] também dados sobre o grau de satisfação que uma empresa está gerando na sociedade na qual desenvolve sua atividade” (Cortina, 2005, p.85-86).

REFERÊNCIAS:

ANTONIK, Luis Roberto. **Compliance, ética, responsabilidade social e empresarial**: uma visão prática. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

BERTI, Leandro Antunes; PORTO, Luismar Marques. **Nanosegurança**: guia de boas práticas para fabricação e laboratório. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

CASTELLS, Manuel. Para além da caridade: responsabilidade social no interesse da empresa na nova economia. In: CORTINA, Adela (Org.). **Construir confiança**: ética da empresa na sociedade da informação e das comunicações. Tradução Alda da Anunciação Machado. São Paulo: Edições Loyola, 2007.

CATALAN, Marcos. **Proteção constitucional do meio ambiente e seus mecanismos de tutela**. Método: São Paulo, 2008.

CHENG, Huai N. et al. Nanotechnology in agriculture. In: CHENG, Huai. N. et al. (Ed.). **Nanotechnology**: delivering on the promise. Washington: American Chemical Society, 2016b. v. 2. (ACS Symposium Series, 1224).

CORTINA, Adela. **Cidadãos do mundo**: para uma teoria da cidadania. Tradução da Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Loyola, 2005.

DAMODARAN, Aswath. **Gestão estratégica do risco**: uma referência para a tomada de riscos empresariais. Porto Alegre: Bookman, 2009.

DURÁN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cezar de. **Nanotecnologia**: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

ENGELMANN, Wilson. O pluralismo das fontes do direito como uma alternativa para a estruturação jurídica dos avanços gerados a partir da escala manométrica. In: STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo; ENGELMANN, Wilson (Org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 13. Porto Alegre: Livraria do Advogado; São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2017.

ENGELMANN, Wilson. O “direito de ser informado” sobre as possibilidades e os riscos relacionados às nanotecnologias: o papel do engajamento público no delineamento de um (novo) direito/dever fundamental. In: MENDES, Gilmar Ferreira; SARLET, Ingo Wolfgang; COELHO, Alexandre Z. P. (Coord.). **Direito, inovação e tecnologia**. São Paulo: Saraiva, 2015.

ENGELMANN, Wilson; CARDOSO, Tatiana de Almeida Freitas Rodrigues. Os novos poderes e a necessidade de uma regulação mundial para as nanotecnologias. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito o (RECHTD)**, São Leopoldo, v. 2, n. 2, p. 182-183, jul./dez. 2010. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/RECHTD/article/view/343/2057>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ENGELMANN, Wilson (Org.). **Nanocosméticos e o direito à informação**: construindo os elementos e as condições para aproximar o desenvolvimento tecnocientífico na escala nano da necessidade de informar o público consumidor. Erechim: Deviant, 2015.

ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias nos cosméticos**. Erechim: Deviant, 2015e. (Nanotecnologias nos cosméticos, n. 5). Texto em quadrinhos.

EUROPEAN COMMISSION. Science for Environment Policy. **Assessing the environmental safety of manufactured nanomaterials**: in-depth report 14. Bristol, Aug. 2017d. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/assessing_environmental_safety_nanomaterials_IR14_en.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.

GERMANY. Federal Ministry of Education and Research. **Action plan nanotechnology 2020**: an inter-departmental strategy of the Federal Government. Rostock, Oct. 2016. Disponível em: <https://www.bmbf.de/pub/Action_Plan_Nanotechnology.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

GUPTA, Nidhi; FISCHER, Arnout R. H.; FREWER, Lynn Jayne. Ethics, risk and benefits associated with different applications of nanotechnology: a comparison of expert and consumer perceptions of drivers of societal acceptance. **Nanoethics**, Dordrecht, v. 9, n. 2, Apr. 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26300995>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão do risco a partir do diálogo entre as fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TC 229**: nanotechnologies. Geneva, 2005. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983>. Acesso em: 15 fev. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Ballot on ISO/DTR 12885**: nanotechnologies: health and safety practices in occupational settings. Geneva, 2017. Documento em PDF: norma não publicada em discussão pública.

INTRODUCTION. **Nanotechnology Products Database (NPD)**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://product.statnano.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

INVERNIZZI, Noela et al. Nanotecnologías dirigidas a necesidades sociales. Contribuciones de la investigación latino americana en medicina, energía y agua. **Sociología y Tecnociencia**, Palencia, v. 2, n. 5, enero 2016. Disponível em: <<https://revistas.uva.es/index.php/sociotecn/article/view/678>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

ISAIHAH, David. Automotive grade graphene: the Clock is Ticking. **Automotive World**, Wales, Aug. 26 2015. Disponível em: <<http://www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

KATALAGARIANAKIS, Georgios. **EU Research strategy**: nanotechnologies and advanced materials 2018-2020: safe nanotechnology. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://nanotechia.org/sites/default/files/eu_research_strategy_-_nanotechnologies_and_advanced_materials.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018.

KULINOWSKI, Kristen M. Tentación, tentación, tentación: ¿por qué es probable que respuestas simples sobre los riesgos de los nanomateriales sean erróneas? In: FOLADORI, Guillermo et al. (Coord.). **Nanotecnologías en América Latina**: trabajo y regulación. Zacatecas: Ed. Universidad Autónoma de Zacatecas; México: Miguel Ángel Porrúa, 2015.

LASKOW, Sarah. The strongest, most expensive material on earth. **The Atlantic**. Washington, Sept. 23 2014. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2014/09/the-strongest-most-expensive-material-on-earth/380601/>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

LUHMANN, Niklas. **Sociología del riesgo**. Tradução de Silvia Pappe, Brunhilde Erker e Luis Felipe Segura. México: Ed. Universidad Iberoamericana, 2006.

MARCIAL, Elaine C. (Org.). **Megatendências mundiais 2030**: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo?: contribuição para um debate de longo prazo para o Brasil. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2015. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/151013_megatendencias_mundiais_2030.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MAYNARD, Andrew. Não falamos mais sobre riscos da nanotecnologia, mas isso não significa que eles desapareceram. **Tecnologias Emergentes, Sociedade e Desenvolvimento**, Curitiba, 4 jul. 2016. Disponível em: <<http://nanotecnologiasociedade.weebly.com/blog/nao-falamos-mais-sobre-riscos-da-nanotecnologia-mas-isso-nao-significa-que-desapareceram-por-andrew-maynard>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

McWILLIAMS, Andrew. The maturing nanotechnology market: products and applications. **Market Reports**, Wellesley, Nov. 2016. Disponível em: <<https://www.bccresearch.com/market->

research/nanotechnology/ nanotechnology-market-products-applications-report-nan031g.html>. Acesso em: 22 jan. 2018.

NANOTECNOLOGIA: nanomaterial produz hidrogênio combustível da água do mar. **LQES - Laboratório de Química do Estado Sólido**, Campinas, 2017a. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2017/lqes_news_novidades_2357.html>. Acesso em: 16 fev. 2018. Nota do Scientific Editor: o trabalho que deu origem a esta notícia de título: “MoS₂/TiO₂ Heterostructures as NonmetalPlasmonicPhotocatalysts for HighlyEfficientHydrogenEvolution”, de autoria de Guo, L. et al. foi publicado, online, no periódico Energy Environ. Sci., 2017. Texto postado no hiperlink Novidades em C&T&I e do LQES: 2017.

RASHWAN, Khaled; SEREDA, Grigoriy. Applications of nanoparticles through surface functionalization. In: CHENG, Huai. N. et al. (Ed.). **Nanotechnology: delivering on the promise**. Washington: American Chemical Society, 2016. v. 2. (ACS Symposium Series, 1224).

ROCHA, Leonel S.; MARTINI, Sandra R. **Teoria e prática dos sistemas sociais e direito**. 1. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2016.

SANTOS, Robson F.; PEREIRA, R. Preservação ambiental e consumo consciente: aproximações jurídicas a partir da proposta do desenvolvimento sustentável. In: FIORILLO, Celso Antonio Pacheco; WIENKE, Felipe Franz; FREITAS, Vladimir Passos de (Org.). **Direito ambiental e socioambientalismo II**. 1. ed. Florianópolis: Conpedi, 2017. v. 1, p. 164.

SAVOLAINEN, Kai (Coord.). **Nanosafety in Europe 2015-2025: towards safe and sustainable nanomaterials and nanotechnology innovations**. Helsinki: Edita; Finland: Finnish Institute of Occupational Health, 2013. Disponível em: <<http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report159.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradutor Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

SEN, Amartya. Ética de empresa e desenvolvimento econômico. In: CORTINA, Adela (Org.). **Construir confiança: ética da empresa na sociedade da informação e das comunicações**. Tradução Alda da Anunciação Machado. São Paulo: Edições Loyola, 2007.

SKENTELBERY, Claire. **Summary: moving forward with safe by design**. [S.l., 2017?]. Disponível em: <http://nanotechia.org/sites/default/files/workshop_summary.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018.

STONE, Vicki et al. **NanoSafetyCluster Research Regulatory Roadmap 2017**. Research priorities relevant to development or updating of nano-relevant regulations and guidelines. [S.l.]: European NanoSafety Cluster, Mar. 9 2017. Disponível em: <<https://www.nanosafetycluster.eu/news/217/66/NanoSafety-Cluster-Research-Regulatory-Roadmap-2017.html>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

SUAREZ-MERINO, Blanca; SCHLOTTER, Til; HÖHENER, Kar. **Session 2: tools and frameworks for product development available for safe by design**. [S.l.], 2017.slide 6. Disponível em: <http://nanotechia.org/sites/default/files/tools_and_frameworks_for_product_development_available_for_safe_by_design.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency (EPA). **Nanotechnology white paper**. Washington, Feb. 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-01/documents/nanotechnology_white_paper.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

VIPIN, AdvanKiliyankilet al. Cellulose nanofiber backboneed Prussian blue nanoparticles as powerful adsorbents for the selective elimination of radioactive cesium. **Scientific Reports**, Tokyo, v. 6, n. 37009, Nov. 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5109467/pdf/srep37009.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

WEYERMÜLLER, André Rafael. **Água e adaptação ambiental**: o pagamento pelo seu uso como instrumento econômico e jurídico de proteção. Curitiba: Juruá, 2014.