

NANOTECNOLOGIAS
E MEIO AMBIENTE:
RISCOS E “PREVPREC”

Juliane Altmann Berwig
ORGANIZADORA

Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo - ASPEUR
Universidade Feevale

NANOTECNOLOGIAS E MEIO AMBIENTE:

RISCOS E "PREVPREC"

Juliane Altmann Berwig
Organizadora



Novo Hamburgo
2021



EXPEDIENTE

Presidente da Aspeur

Marcelo Clark Alves

Reitor da Universidade Feevale

Cleber Cristiano Prodanov

Pró-reitora de Ensino

Angelita Renck Gerhardt

Pró-reitor de Pesquisa, Pós-graduação e Extensão

Fernando Rosado Spilki

Editora Feevale

Mauricio Barth (Coordenação)

Tiago de Souza Bergenthal (Revisão textual)

Tífani Müller Schons (Design editorial)

Universidade Feevale, RS, Brasil

Bibliotecária responsável: Bruna Heller – CRB 10/2348

Nanotecnologias e meio ambiente [recurso eletrônico] : riscos e "prevprec" / Juliane Altmann Berwig organizadora. – Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2021.
Dados eletrônicos (1 arquivo : 1,2 megabytes).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.
Modo de acesso: <www.feevale.br/editora>
Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-86341-06-5

1. Nanotecnologias. 2. Meio ambiente. 3. Responsabilidade jurídica. 4. Direitos humanos. I. Berwig, Juliane Altmann. II. Título.

CDU 504:620.3

UNIVERSIDADE FEEVALE

Câmpus I: Av. Dr. Maurício Cardoso, 510 | Bairro Hamburgo Velho | Novo Hamburgo/RS | CEP 93510-235

Câmpus II: ERS-239, 2755 | Novo Hamburgo/RS | CEP 93525-075

Câmpus III: Av. Edgar Hoffmeister, 500 | Zona Industrial Norte | Campo Bom/RS | CEP 93700-000

Fone: (51) 3586.8800 | Homepage: www.feevale.br

© **Editora Feevale** - Os textos assinados, tanto no que diz respeito à linguagem como ao conteúdo, são de inteira responsabilidade dos autores e não expressam, necessariamente, a opinião da Universidade Feevale. É permitido citar parte dos textos sem autorização prévia, desde que seja identificada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei n.º 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.



Para auxiliar na compreensão do objeto do presente livro, importante trazer a reflexão do que são as nanotecnologias: o prefixo “nano” vem do grego “nânos”, que significa anão, muito pequeno. Assim, nanotecnologias é a área do conhecimento que estuda as estruturas, em que uma das dimensões está entre 1 e 100 nanômetros. O nanômetro, representado pela abreviação “nm”, é a bilionésima parte do metro, ou seja: 10^{-9} de metro. Logo, as nanotecnologias são tecnologias em escala nano impregnadas em determinados produtos, mecanismos, alimentos, substâncias, dentre tantas outras possibilidades. Por esta razão, a terminologia correta deve sempre estar no plural, uma vez que cada nanotecnologia (material, substância, partícula, componente, estrutura) possui sua particularidade, portanto, fala-se em as nanotecnologias para representar a tecnologia em escala nano.

As nanotecnologias, por esta via, não são uma tecnologia nova. Explica-se: os nanomateriais, por exemplo, podem ser produzidos intencionalmente ou inclusive estarem disponíveis na natureza. Assim, são divididos em: (i) natural: nanotecnologia decorrente da evolução natural dos materiais presentes na natureza; (ii) incidental: oriundo de algum processo antropogênico, mas não intencionalmente para a produção de nanopartículas, como a poluição de veículos e a fumaça gerada na produção industrial; (iii) nanomaterial fabricado (ou engenheirado): aquele que é produzido intencionalmente pela ação humana.

Apesar de disponíveis na natureza, as nanotecnologias foram descobertas há algumas décadas, todavia, é no século atual que está



sendo percebida a inclusão dos produtos nanotecnológicos no mercado, somando atualmente mais de 9 mil produtos que contêm nanotecnologias no mundo, conforme o banco de dados STATNANO.

As nanotecnologias não só prometem como já "entregam" inovações: na indústria automotiva com materiais mais leves e resistentes; na comunicação, imprimindo mais velocidade na transmissão e armazenamento de dados; na química, com maior eficiência energética, absorção das substâncias; na farmacêutica, com sistemas de difusão de medicamentos mais precisos; no setor de energia, com armazenamento e a produção de ecológica; no meio ambiente, com materiais que possibilitem a despoluição; dentre tantas outras milhares de aplicações. Este é o seu parâmetro positivo, a inovação.

O outro lado das nanotecnologias são seus riscos. Por exemplo, há um desconhecimento quanto aos efeitos das substâncias em escala nano, pois suas propriedades e seus efeitos nos organismos vivos são distintas. Os nanomateriais podem ser assimilados pelo corpo humano por quatro vias principais: nasal, oral, dérmica e intravenosa; e considerando os aspectos da saúde ambiental, os nanomateriais podem ser assimilados pelos organismos e ecossistemas através do solo, água e ar. Em testes realizados, observou-se que nanomateriais engenheirados podem induzir processos inflamatórios das vias respiratórias de camundongos. Devido à elevada área superficial e reatividade química dos nanomateriais, estes podem interagir com poluentes comumente encontrados no meio ambiente (metais pesados e pesticidas), atuando como carreadores e potencializando efeitos ecotoxicológicos. (CNPEM, 2019).

Por esta via, as nanotecnologias trazem consigo, além dos benefícios (crescimento mundial, conforto, praticidade, tecnologias, dentre tantos outros), também inúmeros riscos, que, por diversas ocasiões, podem gerar graves danos ambientais e que hoje ainda são desconhecidos. Contudo, tais riscos não são reconhecidos pelos instrumentos do



Sistema do Direito Ambiental, ou seja, os instrumentos de controle de danos, tais como o licenciamento ambiental. Pelo fato de não serem reconhecidos, pela inexistência de uma legislação específica, estes riscos nanotecnológicos não são geridos.

Diante deste cenário, torna-se importante o tema abordado neste livro NANOTECNOLOGIAS E MEIO AMBIENTE: RISCOS E "PREVPREC"¹, o qual reuniu pesquisadores qualificados que se dedicam a estudar o tema para trazer seus conhecimentos sobre e demonstrar as possibilidades de atuação do Direito Ambiental para a gestão dos riscos nanotecnológicos.

A presente obra é marcada pelo seu caráter multidisciplinar, reunindo pesquisadores de diferentes áreas. O tema proposto neste livro é demasiado interessante, uma vez que alerta para os riscos das nanotecnologias e demonstra, na visão dos pesquisadores, os possíveis caminhos que o Direito Ambiental poderá se utilizar para atuar em prevenção e precaução aos riscos nanotecnológicos. Portanto, os capítulos redigidos pelos pesquisadores merecem ampla divulgação, dada a sua qualidade e importância para o desenvolvimento do conhecimento sobre o tema.

Prof. Dra. Juliane Altmann Berwig²

¹ Expressão utilizada para representar a junção das palavras prevenção e precaução na gestão dos riscos nanotecnológicos.

² Doutora e mestra em Direito (UNISINOS), especialista em Direito Ambiental Nacional e Internacional (UFRGS) e graduada em Direito (UNISC). Professora no Curso de Direito da Universidade Feevale. Pesquisadora com o projeto financiado pela FAPERGS "Os riscos ambientais das nanotecnologias: estruturando as possíveis respostas do direito e informando a sociedade". Fundadora e diretora da Associação Gaúcha dos Advogados de Direito Ambiental Empresarial – AGAAE.



SUMÁRIO

8

RESPONSABILIDADE JURÍDICA E REGULAÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS
DA NANOTECNOLOGIA: UMA ANÁLISE DO CENÁRIO BRASILEIRO

41

O RISCO NA SOCIEDADE COMPLEXA E TECNOLÓGICA:
UMA ABORDAGEM SISTÊMICA LUHMANIANA

77

NANOTECNOLOGIA: DO DESENVOLVIMENTO DOS
NANOMATERIAIS AOS NANORESÍDUOS

93

ERA NANOTECNOLÓGICA E RISCO: EM QUE
MEDIDA A PRECAUÇÃO É (DES)NECESSÁRIA?

118

A MÃE NATUREZA EM UM MUNDO DADO: RESOLVENDO O
PROBLEMA DA PRECAUÇÃO NANOTECNOLÓGICA



149

NANOTECNOLOGIA: COMPLEXIDADE, RISCO
E O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

178

A APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA PREVENÇÃO, PRECAUÇÃO E
POLUIDOR-PAGADOR AOS RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

204

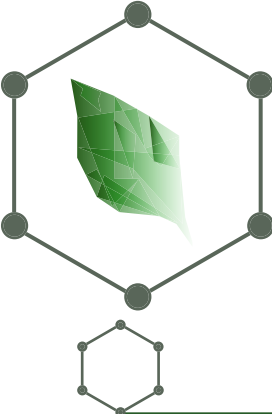
OS DIREITOS HUMANOS COMO BASE JURÍDICA PARA
A PROTEÇÃO AOS RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

234

O HIBRIDISMO NORMATIVO E A
POSSIBILIDADE DE GESTÃO DE POSSÍVEIS RISCOS

255

AUTORES



RESPONSABILIDADE JURÍDICA E REGULAÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS DA NANOTECNOLOGIA: UMA ANÁLISE DO CENÁRIO BRASILEIRO

Aírton Guilherme Berger Filho

1 INTRODUÇÃO

A incorporação da nanotecnologia e nanomateriais em laboratórios, processos industriais, produtos comerciais e, conseqüentemente, no meio ambiente ocorre mais rápido que a inclusão de normas jurídicas "nanoespecíficas" voltadas para a gestão e governança dos riscos. Aplicações significativas da nanociência e nanotecnologia já estão inseridas no mercado em novos produtos farmacêuticos, cosméticos, na biotecnologia, alimentos processados, produtos químicos, engenharia de materiais de alto desempenho, eletrônica, tecnologias de informação, mecânica de precisão, ótica, análise e rastreamento, produção de energia e ciências ambientais. A grande maioria dos nanomateriais, entretanto, não é produto de consumo vendido diretamente ao usuário final, mas material "capital" para ser utilizado por outras indústrias, na concepção de novos produtos. Ou seja, a maioria dos nanomateriais pode ser entendido como "produtos para a inovação de processos" (ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION, 2008). As perspectivas abertas pela nanotecnologia e a convergência tecnológica que ela impulsiona são extraordinárias, tanto no plano científico-tecnológico quanto no plano socioeconômico. A ampla gama de aplicações, as propriedades diferenciadas da matéria na escala nanométrica e outras ca-



racterísticas vinculadas às nanotecnologias tendem, todavia, a resultar também em incertezas e riscos potenciais inéditos. Na medida em que volumes de produção industrial e os diferentes usos de nanomateriais engenheirados se ampliam na sociedade, aumentam as possibilidades de dispersão no ambiente e a variedade de cenários em que a exposição por seres humanos e outros seres vivos se torna possível, de modo que os riscos podem ser observados em diversos momentos do ciclo de vida dos produtos, incluindo os impactos sobre os consumidores, trabalhadores e o meio ambiente, com liberações acidentais na indústria e a destinação dos resíduos, por exemplo (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004). O tamanho reduzido das nanopartículas facilita sua difusão e transporte na atmosfera, nas águas e no solo, assim como sua absorção por organismos vivos por inalação, alimentação ou contato com a pele e a biocompatibilidade com as células vivas. As pesquisas sobre a toxicidade, biodisponibilidade, biodegradabilidade das nanopartículas engenheiradas – menos prestigiadas por recursos governamentais e privados – apresentam seus resultados em uma velocidade mais lenta que a produção e sua incorporação das nanotecnologias, o que amplia as lacunas no conhecimento naturalmente existentes quanto ao risco da incorporação de novas tecnologias.

No Brasil, assim como na maioria dos Estados nacionais, até o presente não existem instrumentos que estabeleçam obrigações legais específicas de gestão de riscos das nanotecnologias.¹ Predominam normas voltadas para a estruturação de políticas de estímulo ao desen-

¹ O cenário de regulação dos riscos das nanotecnologias na atualidade é formado principalmente pela iniciativa de atores não estatais, como níveis de normatividade distintos, incluindo sistemas de normalização técnica a cargo de organizações como a International Organization for Standardization (ISO), de autorregulação privada. Em menor número, emergem normas de estímulo ao desenvolvimento da nanotecnologia, alguns mecanismos de *soft law* e alguns sistemas mais constringentes de obrigações legais impostas pelos Estados.



volvimento científico tecnológico, investimentos governamentais² e a formação de redes de pesquisa. Diferentemente da realidade brasileira, iniciativas recentes resultaram em algumas adaptações de diplomas legais específicos em normas locais, como é o caso da cidade Berkeley³ nos EUA, em leis nacionais como na França⁴, Bélgica, Dinamarca e

² O ingresso do termo "nanotecnologia" na legislação se deu no âmbito de promoção de políticas de pesquisa e cooperação tecnológica, com vistas ao desenvolvimento da nanotecnologia nos Estados Unidos, através da sanção do "21st Century Nanotechnology Research and Development Act", em 03 de dezembro de 2003. A norma autorizou o financiamento de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia (P&D), em programas e atividades apoiadas pela National Nanotechnology Initiative (NNI).

³ Em 2006 foi alterado o Código Municipal da cidade de Berkeley, para incluir obrigações relativas nanopartículas fabricadas no Capítulo 15.12, dos "Materiais perigosos e gestão de resíduos".

⁴ Entre os Estados nacionais, a França foi o primeiro a estabelecer normas jurídicas obrigatórias, relativas ao controle da informação sobre o uso de nanopartículas a partir da recente modificação promovida pelo artigo 185 da Lei Grenelle du l'environnement, datada de 12 de julho de 2010, que acresceu um novo capítulo ao Code de l'environnement, "Capítulo III: Prevenção de riscos à saúde e ao ambiente, decorrentes da exposição a substâncias no seu estado de nanopartículas" (arts. L523-1 a L523-5), inseridos, posteriormente, novos artigos, do L523-6 ao L523-8, pela Ordennance n° 2.012-34, de 11 de janeiro de 2012, sobre a simplificação, a reforma e a harmonização da polícia administrativa e disposições de polícia judiciária do Código do Ambiente.



normas da União Europeia⁵, relativas ao dever de registro de nanomateriais, informações e controle ambiental, na segurança do consumidor, assim como gestão dos riscos de produtos químicos.

Essa escassez de normas “nanoespecíficas” não inviabiliza, entretanto, a possibilidade da responsabilização jurídica por danos ambientais ou à saúde humana. Atualmente, o ordenamento jurídico brasileiro possui normas voltadas para a garantia de proteção ambiental e sanitária e dispõe de meios de responsabilização civil, penal e administrativa aplicáveis a atividades, às pesquisas, às cadeias produtivas, aos produtos, aos resíduos e rejeitos. Embora não existam no Brasil normas que imponham diretamente medidas de gestão de riscos relacionados com a nanotecnologia, na manufatura e todo o “ciclo de vida” de nanomateriais (desenvolvimento, fabricação, comércio de produtos, descarte, reciclagem), existem obrigações legais genéricas aplicáveis, estabelecidas com vistas à proteção ambiental, com fundamento nos princípios da precaução, da informação, da transparência, da participação social e do poluidor-pagador.

⁵ Em vigor desde 11 de julho de 2013, o Regulamento CE nº 1223/2009 relativo aos produtos cosméticos, inclui disposições específicas para os nanomateriais (definição, necessidade de notificação, etiquetagem e elaboração de relatórios de nanomateriais). O Regulamento relativo à informação alimentar para os consumidores (UE Regulamento 1.169/2011) foi aprovado pela CE em julho de 2011, e entrou em vigor a partir de dezembro de 2014; combina duas diretivas anteriores sobre “rotulagem, apresentação e publicidade dos gêneros alimentícios” (2000/13/CE) e “rotulagem nutricional dos gêneros alimentícios” (90/496/CEE). Esse regulamento inclui a exigência de rotulagem dos ingredientes na forma de nanomateriais (material mais palavra “nano” entre parênteses).” Em 18 de outubro de 2011, a Comissão adotou a Recomendação 2011/696/EU, relativa à definição de nanomaterial para ser utilizada pelos Estados-membros, pelas agências e empresas da União Europeia, como referência para determinar quando um material deve ser considerado abrangido pela legislação específica relativa, por exemplo, para a avaliação de risco ou rotulagem dos ingredientes. Em janeiro do ano seguinte, foram inseridas disposições específicas para nanomateriais no Regulamento (UE) nº 528/2012, relativo à disponibilização no mercado e à utilização de produtos biocidas. Aplicável à indústria a partir de 1º de setembro de 2013. O regulamento relativo a produtos biocidas da União Europeia visa à simplificação e à harmonização de procedimentos de autorização de produtos biocidas, mantendo assegurado o elevado nível de proteção da saúde humana e do ambiente.



O presente texto busca analisar as possíveis respostas do Estado brasileiro para o gerenciamento dos riscos ambientais das nanotecnologias no plano jurídico, a partir da perspectiva responsabilidade-projeto, desenvolvido por François Ost. Segundo Ost, em matéria ambiental devem articular-se, de modo dialético, quatro dimensões de responsabilidade, são elas: i) a “responsabilidade sanção” decorrente da imputação de uma falta; ii) a cobertura de responsabilidade independentemente da assunção de culpa, que deve impor a restauração do dano, incluindo a possibilidade do recurso a sistemas de mutualização dos riscos; iii) a responsabilidade da prevenção e precaução, no sentido de antecipar e evitar danos muitas vezes irreversíveis; iv) a responsabilidade participação, que visa a garantir envolvimento de todos na gestão ambiental e controle dos riscos e inclui direitos à informação, à consulta e o direito de acesso à justiça para indivíduos e associações.

2 RESPONSABILIDADE-PROJETO

O conceito de responsabilidade-projeto apresentado por Ost (1997) deriva do conceito de “natureza-projeto” defendido em *“A Natureza à Margem da Lei: a Ecologia à Prova do Direito”*, a sua principal obra no trato da relação entre Direito e Ecologia. A concepção de “natureza-projeto”, concebida como projeto para o que Ost (1997, p. 275) denominou “meio” – resultado da interação entre sociedade e ambiente, híbrido emergente da relação entre natureza e cultura – é construída em três dimensões: a epistemológica, a ética e a jurídica (OST, 1997). Na perspectiva epistemológica, busca-se “um saber interdisciplinar deste novo ‘híbrido’, o meio, sujeito à jurisdição, tanto das ciências naturais como das ciências sociais”. Isso somente será possível se, “ultrapassando as regras do método, adoptarmos a ideia da complexidade, que dita o cruzamento dos níveis de interações das causalidades” (OST, 1997, p. 275). A perspectiva ética é apresentada “nos termos de uma responsa-



bilidade, que é, segundo a sua etimologia, a resposta a um apelo". Uma responsabilidade-projeto "mobilizada pelos desafios do porvir, mais do que uma responsabilidade-imputação reservada pelas faltas do passado" (OST, 1997, p. 338), entendida como "atribuição a uma coletividade de uma missão para o futuro". Esse "alargamento da responsabilidade às gerações longínquas, segundo Ost (1997, 275), implica "legar às gerações futuras um planeta viável; quer dizer, um mundo que seja não apenas condição de sobrevivência, mas também garantia de uma vida sensata". Assim, a humanidade se insere em uma "cadeia de transmissão que me faz credor dos meus antecessores ao mesmo tempo que devedor dos meus descendentes" (Ost, 1997, 275).

Os seres humanos não podem ficar "ilhados de sua história", não podem ser "apartados" da "cadeia de gerações sucessivas"; para tanto, o conceito de responsabilidade em relação ao ambiente e à humanidade (ao meio) deve partir de conceitos como "responsabilidade" e "transferência de uma herança", bem como de princípios como a "igualdade entre gerações", mas não de conceitos como "contrato" e "reciprocidade" (OST; VAN HOECKE, 1999, p. 627). Ost e Hoecke (1999) defendem que, na relação intergeracional, notadamente quanto aos riscos da sociedade industrial, se faz necessária, no plano teórico, a superação do modelo "contratualista" e "instantaneísta" pelo modelo de transmissão. Isso porque o fato de sermos o que somos se deve às gerações anteriores, o que "cria o dever de transferir condições similares para a boa vida às gerações futuras". A partir "[d]este ponto de vista, todas as gerações são iguais, sem nenhuma reciprocidade". Nesse sentido, segundo Ost e Hoecke, é necessário "minimizar qualquer forma de 'preferência temporal'" que privilegie ou que possa prejudicar grupos ou pessoas por sua "localização" na ordem "temporal". Deve-se "tratar os ausentes como se estivessem presentes" e equilibrar interesses intertemporais, pois todos estão vinculados a um destino comum (OST; VAN HOECKE, 1999, p. 626). Isso implica em responsabilidades assumidas pela geração pre-



sentes, não imputadas como uma falta, mas como um dever assumido perante o passado e o futuro da humanidade.

A terceira etapa do projeto estruturado para o "meio" é a jurídica, e ela parte da "qualificação de um regime jurídico para este misto de natureza e cultura" encontrada na noção de *patrimônio*, "instituição complexa que articula o sujeito e o objeto, o privado e o público, o local e o global, o passado e o futuro" (OST; VAN HOECKE, 1999, p. 627). Este projeto para o "meio" é, segundo Ost, qualificado pelos juristas como "patrimônio comum", pelos economistas como "desenvolvimento sustentável" e pelos filósofos como "responsabilidade pelas futuras gerações", três formas "convergentes de se assegurar um futuro para o meio" (OST; VAN HOECKE, 1999, p. 625). Ost (1995, p. 286) defende a tese de que somente é possível ao Direito salvaguardar o meio ambiente desejado se quatro responsabilidades se articularem de modo dialético: 1) a responsabilidade decorrente da imputação de uma falta, aplicação de sanções jurídicas fundadas na culpa *latu sensu* (dolo ou *stricto sensu*), que satisfaz exigências éticas de punição; 2) a cobertura de responsabilidade civil que, independentemente da assunção de culpa (responsabilidade objetiva), deve prever mecanismos para reparação dos danos, acompanhada por sistemas de mutualização dos riscos (seguros obrigatórios); 3) a responsabilidade de prevenção e precaução; 4) a responsabilidade participação, que visa garantir o envolvimento de todos na gestão e no controle ambiental, incluindo o reconhecimento dos direitos processuais à informação, consulta e de acesso à justiça para os indivíduos e as suas associações.

A responsabilidade jurídica ambiental aparece, segundo Ost (1995, p. 286), como um "dispositivo complexo", cujos diferentes elementos constitutivos estão em "relação de interação dialética". "Rio acima", aplica-se a prevenção e a precaução em todas suas formas. No centro, aplica-se a penalização "nos casos mais escandalosos", adaptando à realidade brasileira: as responsabilidades criminal e administrativa, assim



como a responsabilidade civil nas hipóteses em que o causador e a culpa "stricto sensu" possam ser identificados. Em seguida, as extensões da responsabilidade rumo a presunções que levam à responsabilidade objetiva: nesse caso, o "risco ocupa o primeiro lugar", e o direito de responsabilidade muda seu "centro de gravidade". Finalmente, "rio abaixo": a segurança dos fundos de compensação, o vínculo da responsabilidade com o sistema de seguros (OST, 1995, p. 286-287).

3 O GERENCIAMENTO ESTATAL DO RISCO AMBIENTAL E SUA INTERFACE COM A RESPONSABILIZAÇÃO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE SOBRE O BRASIL

O desenvolvimento de novas tecnologias envolve impacto sobre bens e interesses que podem estar constitucionalmente valorados, como o meio ambiente ecologicamente equilibrado e a sadia qualidade de vida, e, por conseguinte, a dignidade da pessoa humana. No Brasil, conforme o artigo 225 da Constituição Federal de 1988: "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações." A dimensão objetiva desse direito impõe ao Poder Público e à coletividade deveres que estão expressos no texto constitucional, em sentido amplo de defesa e preservação, e, de uma forma pontual, incumbências instituídas nos incisos do parágrafo primeiro, entre as quais destacamos o dever de: a) exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade (art. 225, § 1º, IV); b) controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente (art. 225, § 1º, V). O regime constitucional brasileiro possibilita



a tripla reponsabilidade, conforme a redação do § 3º do artigo 225 da Constituição Federal de 1988; *in verbis*: "As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados." Em suma, no Brasil os deveres constitucionais impõem que sejam aplicadas medidas preventivas (também precaucionais) e um regime complexo de responsabilização. Ademais, também são deveres constitucionais do Estado assegurar o acesso à informação e participação da sociedade nos processos de tomada de decisão, em matérias que envolvam riscos ambientais, exigidos e garantidos por normas infraconstitucionais.

Segundo Carvalho (2013, p. 84 e ss), existem duas "esferas institucionais competentes para o gerenciamento dos riscos ambientais": o "gerenciamento administrativo" e o "gerenciamento jurisdicional". O primeiro, sistema de gerenciamento de risco administrativo, implica na intervenção do Estado por meio do exercício do poder de polícia pela administração pública, legitimado pelo interesse público, limitador da atuação individual ou mesmo coletiva, frente à necessidade de garantir à sociedade um mínimo de segurança, para bens e pessoas. Isso porque, a partir do Estado social, os riscos de danos foram incorporados pelo Direito não mais como uma fatalidade, mas como algo que pode ser evitado por medidas de prevenção baseadas, entre outras coisas, no conhecimento científico e na expertise técnica. Com base no poder de polícia, cabe ao Estado: aplicar mecanismos e instrumentos de gerenciamento de riscos ambientais, tais como autorizações e licenças concedidas pelo órgão público, vinculadas à exigência de estudos ambientais por parte do interessado (empreendedor); exercer a fiscalização, persuadir e impor o cumprimento das prescrições legais; imputar sanções a partir da responsabilidade administrativa àqueles que descumpram obrigações legais e/ou causem danos ao meio ambiente, à segurança ou à saúde e/ou tragam riscos para a coletividade. A ação da Administração Pública



no Estado de Direito é exercida na tensão entre a discricionariedade e a legalidade administrativa, passível do controle jurisdicional.

Conforme Carvalho (2013, p. 89), "o movimento de um padrão para as ações regulatórias baseadas num paradigma do dano (*harm-based*) em direção a um modelo fundado sobre o risco (*risk-based*)" gera como resultado "uma grande expansão do poder discricionário das entidades administrativas competentes". Todavia, como adverte o mesmo autor, esta encontra-se "sempre limitada pela juridicidade (legalidade, princípios de direito, padrões e critérios jurisprudencialmente aceitos etc.) imposta pelo Estado de Direito". O gerenciamento jurisdicional dos riscos, conforme Carvalho (2013, p. 89), é exercido pelos tribunais quando os instrumentos administrativos necessários não existem, são inadequados ou não são utilizados satisfatoriamente para fins de gestão dos riscos. A atuação do Judiciário neste sentido ocorre por meio de "mecanismos", como "o controle e a revisão judicial dos atos administrativos", a imposição da responsabilização nas esferas civil e criminal, bem como das responsabilidades administrativas quando submetidas ao seu exame. Essas medidas, no plano processual, contam com expedientes que expressam função preventiva e podem ter caráter precaucional (decidir diante de incertezas). O Judiciário pode, por meio de sentença, impor obrigações de fazer ou não fazer, apreender bens, revogar licenças, suspender parcial ou totalmente as atividades, interditar temporariamente o estabelecimento, obra ou atividade, entre outras medidas. Há, portanto, uma abertura para a sociedade e instituições do Estado provocarem o judiciário para impedir, anular, cessar os atos lesivos, buscar a reparação dos danos, compelir a iniciativa e a Administração Pública a adotar medidas de proteção ambiental ou, ainda, exigir desta a abstenção de conduta prejudicial ao meio ambiente. Possibilita-se, também, à sociedade civil organizada (organizações não-governamentais e sindicatos) espaço para exercer seu papel fundamental na fiscalização, modelagem e implementação de mecanismos de gestão de riscos am-



bientais e tecnológicos, inclusive e principalmente preenchendo espaços vazios deixados pela omissão ou ineficiência do *enforcement* estatal em relação aos empreendimentos privados.

4 "RESPONSABILIDADE SANÇÃO", DECORRENTE DA IMPUTAÇÃO DE UMA FALTA

Na esfera criminal, no Brasil, emergem importantes mudanças com a entrada em vigor da "Lei dos Crimes Ambientais" (Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998). Para além do crime de natureza material de poluição, também foi explicitada a natureza formal do crime decorrente da potencialidade de dano à saúde humana, suficiente para configuração da conduta delitiva fundada no risco. A Lei 9.605, de 1998, no art. 54, estabeleceu expressamente a conduta ilícita daquele que causa poluição contra o meio ambiente, com a seguinte redação: "Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora: Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa."

Analisando o caput do artigo 54 da Lei 9.605, de 1998, percebe-se que o sujeito passivo pode incorrer na conduta descrita com o ou sem o resultado naturalístico danoso. Assim como o resultado pode ser "danos à saúde humana", a "mortandade de animais ou a destruição significativa da flora" inerente ao crime de natureza material, com a consumação da poluição causada pelo agente, também a expressão "ou possam resultar" em danos à saúde humana demonstra a possibilidade de sanção penal a condutas distintas sem o dano material ao bem jurí-



dico tutelado.⁶ Há duas modalidades compreendidas no tipo penal: o de perigo – possa resultar em dano à saúde humana; e o de dano – resulte em dano à saúde humana ou provoque a morte de animais ou destrua significativamente a flora.⁷ Conforme decisão do STJ (2014), “o delito previsto na primeira parte do artigo 54, da Lei n. 9.605/1998, possui natureza formal, porquanto o risco, a potencialidade de dano à saúde humana, é suficiente para configurar a conduta delitiva, não se exigindo, portanto, resultado naturalístico e, conseqüentemente, a realização de perícia”.⁸

Trata-se de um crime formal, sem resultado naturalístico, de consumação antecipada, com a possibilidade de conduta violadora da norma ambiental decorrer da “possibilidade de danos” ambientais e à saúde humana, reconhecido o mesmo tratamento sancionatório daquele que efetivamente causa danos. O parágrafo terceiro do mesmo artigo (art. 54, §3º da Lei 9.605, de 1998) tipifica como crime ambiental “deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível”. Além do art. 54, caput e §3º, também há crime de perigo no art. 56 da Lei 9.605/98: para aquele que “produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos.” Nesse caso, uma

⁶ Sobre o artigo 54 da Lei 9.605/95, conforme Nucci, 2017: “Embora pareça desnecessário o tipo dizer que a poluição seja em níveis que possam resultar em danos à saúde humana, já que toda forma de poluição é um prejuízo natural à saúde de seres vivos, quer-se demonstrar que a conduta penalmente relevante relaciona-se com níveis insuportáveis, inclusive aptos a gerar a morte de animais e a destruição de vegetais. Há diferença entre seres humanos e animais ou plantas. Quanto a pessoas, a poluição precisa apenas ser capaz de causar danos à saúde; em relação a animais ou vegetais, é fundamental chegar à mortandade ou destruição”.

⁷ Brasil. STJ. REsp 1417279. Rel. Min. Sebastião Reis Júnior. Julg. 22/09/2015.

⁸ Brasil. STJ. AgRg no REsp 1.418.795-SC, Rel. Ministro Marco Aurélio Bellize, Rel. para acórdão Regina Helena Costa, Quinta Turma, DJe 7/8/2014.



eventual penalização envolvendo nanomaterial necessitaria de norma (lei ou regulamentos) definindo-o como “substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente” e estabelecendo exigências específicas de cuidado.

O Código de Defesa do Consumidor (Lei n. 8.078, de 11 de setembro de 1990) também tipifica como crimes de perigo: a omissão de dizeres ou sinais sobre a nocividade ou periculosidade de produtos nas embalagens, nos invólucros, recipientes ou publicidade (art. 63); a não comunicação à autoridade competente e aos consumidores da nocividade ou periculosidade de produtos cujo conhecimento seja posterior à sua colocação no mercado (art. 64); e a não retirada imediata do mercado, quando determinado pela autoridade competente, de produtos nocivos ou perigosos (art. 64, parágrafo único). O que se percebe novamente é uma abertura do conceito de responsabilidade jurídica para o futuro, como risco nas esferas administrativa, civil e criminal.

5 A RESPONSABILIDADE INDEPENDENTEMENTE DE CULPA

O ordenamento jurídico brasileiro reconhece, em matéria ambiental, a responsabilidade civil objetiva, fundada na teoria do risco integral, o que implica na obrigação de reparar o dano independentemente de culpa, quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco a outrem.⁹ Para a Teoria do Risco Integral, que “se vale da teoria da equivalência das condições para aferição do liame causal”, basta que “o dano possa estar vinculado à existência do fator de risco, o qual é reputado ‘causa’ do dano, pelo que qualquer evento condicionante é equiparado à causa do prejuízo, sem a exigência de que este seja uma consequência necessária, direta e imediata do evento” (STEIGLEDER, 2017, p. 173ss.).

⁹ A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (art. 14, § 1º), o Código de Defesa do Consumidor (art. 12) e o Código Civil de 2002, artigo 927, parágrafo único.



A responsabilidade civil objetiva pelo dano ambiental é vinculada, no Brasil, pela doutrina e jurisprudência ao princípio do poluidor-pagador (PPP). No sentido de buscar a responsabilização integral no Direito Ambiental positivado brasileiro, é importante destacar que a responsabilização civil por danos ambientais vinculadas ao princípio do poluidor-pagador, diferentemente do caráter de castigo das sanções penais e administrativas, busca principalmente a reparação do dano, a recomposição daquilo que foi destruído e a indenização das vítimas. Conforme a Declaração do Rio de Janeiro de 1992, Princípio 13:

Os Estados devem desenvolver legislação nacional relativa à responsabilidade de indenização das vítimas de poluição e outros danos ambientais. Os Estados devem ainda cooperar de forma expedita e determinada para o desenvolvimento de normas de direito internacional ambiental relativas à responsabilidade e indenização por efeitos adversos de danos ambientais causados, em áreas fora de sua jurisdição, por atividades dentro de sua jurisdição ou sob seu controle. (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1992, n.p).

O objetivo imediato da responsabilização ambiental é a reparação do dano, com a maior eficiência e no menor tempo possível, seguido da necessidade de conter o dano (impor medidas de prevenção) e a indenização das vítimas, ou ainda, compensá-lo, caso não seja possível a reparação *in natura*. Trata-se de seu aspecto corretivo/reparador: o causador do dano arca com os custos dos danos em relação ao ambiente e à sociedade e deve ser responsabilizado por sua reparação. Há uma internalização das externalidades decorrentes dos custos de reparação do dano através da responsabilização civil.

Segundo Neto (2003, p. 78), contudo, deve ser acentuada a diferença entre o princípio do poluidor pagador e a responsabilização civil, uma vez que esta é eminentemente retrospectiva, buscando a reparação por danos ambientais causados, ao passo que o princípio em tela



privilegia o sentido da prevenção, "ameaçando" com a internalização dos custos da poluição e motivando, destarte, uma mudança de atitude do produtor em relação às suas externalidades ambientais. Dessa forma, os poluidores, são forçados a "ter em consideração, nos seus cálculos econômicos, os prejuízos provocados à sociedade em geral pela atividade que desenvolvem e, mais do que isso, se forçam os poluidores a modificar a sua conduta tornando-a socialmente menos nociva" (SANTOS; DIAS; ARAGÃO, 1998. p. 53).

Em outra perspectiva, existem autores que defendem a abertura para a responsabilidade civil calcada no risco, alicerçada na precaução. Conforme Borges, Gomes e Engelmann (2014, p. 53), o artigo 927, parágrafo único, do Código Civil de 2002, "consagra cláusula geral do risco" ao reconhecer a obrigação de reparar o dano independentemente de culpa, quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco de outrem. Os autores defendem ampliação da função reparatória da responsabilidade civil, para abarcar também a função de precaução frente a riscos desconhecidos. Uma responsabilidade aplicada com fundamento na incerteza e na ameaça dos riscos, de danos sérios e irreversíveis. Para Borges, Gomes e Engelmann (2014) no campo da responsabilidade civil pelos riscos (nano)tecnológicos, medidas de precaução impõem flexibilização nas exigências relativas à comprovação do nexo causal e uma abertura para a lógica de uma responsabilidade prospectiva, voltada para o futuro.

Quanto à possibilidade de mutualização dos riscos, o sistema jurídico brasileiro não estabeleceu instrumentos normativos e/ou econômicos que estimulem ou obriguem as atividades que envolvam "riscos nanotecnológicos" como parte integrante da estrutura reparatória de danos e compensatória de possíveis vítimas. Apesar de décadas de desenvolvimento da nanociência e das nanotecnologias, o nível de conhecimento quanto aos potenciais riscos permanece escasso, o que representa um grande desafio para o setor de seguros. Conforme Tavares e



Silva (2021), como se sabe, a indústria não irá “refrear o progresso a título de precaução e cautela quanto aos potenciais riscos emergentes de tecnologias recentes”, assim “cabe ao setor de seguros encontrar-se apto a adotar medidas necessárias de gerenciamento, e assim mitigar eventuais prejuízos, deixando claros termos e condições para que haja também o atendimento do propósito da contratação de um seguro por parte do cliente.” Ao mercado securitário, portanto, coloca-se o desafio de “entender como coletar informações suficientes e necessárias para que os riscos sejam avaliados adequadamente mediante tal cenário de incertezas” e igualmente saber “quais responsabilidades poderiam ser imputadas aos empregadores, diretores e conselheiros” (TAVARES; SILVA, 2021, p.12).

6 RESPONSABILIDADE PREVENÇÃO E PRECAUÇÃO NO SENTIDO DE ANTECIPAR E EVITAR DANOS IRREVERSÍVEIS

Conforme Ost (2005), em sua evolução na sociedade liberal do século IX, “o risco assume a forma de acidente”, como “acontecimento exterior e imprevisto”, “simultaneamente individual e repentino”. Na melhor das hipóteses, pode-se tentar prevenir os riscos “dando prova de ‘prudência’”, como “uma garantia individual”. Quando o dano é causado a alguém pela falha de um terceiro, este é obrigado a reparar o mal causado, “em virtude do mecanismo compensador e individual” da responsabilidade civil. Assim, frente a esse “risco-acidente”, impõem-se as seguintes lógicas: “curativa-retroativa”, com a “indenização a posteriori do dano” e a “prudente prospectiva”, a partir do dever moral de “segurança individual e previdência” (OST, 2005, p. 324). No início do século XX, época correspondente à emergência do Estado providência, o risco incorpora a noção de prevenção, que entendida como “uma atitude coletiva, racional, voluntarista, que se pressupõe a reduzir a probabilidade da chegada e da gravidade do risco – um risco doravante objetivável



e mensurável". Nessa época, as bases filosóficas e políticas do "Estado social e sociedade providencial" coincidem com a "utopia científica e técnica", que auxilia na prevenção de doenças, de acidentes, do crime, da miséria e da insegurança social. Ao "domínio científico do risco" é acrescido o "domínio jurídico", no qual "cada um se vê reconhecer um direito generalizado à segurança". O risco assume uma nova forma "do acontecimento estatístico objetivado pelo cálculo das probabilidades", e passa a ser "socialmente suportável pela mutualização dos danos da responsabilidade pelos danos" (OST, 2005, p. 324-325).

Diante do dano causado a terceiro, o Direito começa a responder em termos de responsabilidade objetiva, importando-se menos em relação à falta cometida (responsabilidade subjetiva) e mais em relação à necessidade de indenização da vítima (ou vítimas) pelo prejuízo sofrido, mesmo sem a necessidade da comprovação da culpa do causador. Ost (2005, p. 325) qualifica esta como "sociedade 'prudencial' do risco, a época do apogeu na promessa do bem-estar social. Atualmente, estamos vivendo, segundo Ost (2005, p. 325), uma "terceira fase na história do risco", a era do "risco enorme", do risco "catastrófico", que "frustra a capacidade de prevenção e de domínio. A ilusão do controle e da segurança é substituída pela "incerteza ao quadrado" que afeta de modo reflexivo nossa própria ação". Riscos "simultaneamente globais, transgeracionais, fora das normas (enormes)", desconhecidos em função do estado da técnica científica, bem como sem uma "determinação político-ética" do limiar do que consideramos risco "aceitável" e "inaceitável" (OST, 2005, p. 326); somos convidados a adotar uma "epistemologia da incerteza" e uma "política da indeterminação". A ciência perde o "monopólio do veredicto", o princípio da precaução "convida ao ceticismo", insere a suspeita na ciência, de modo que nos interessa, daqui por diante, "mais pelas dúvidas que pode suscitar, que pelas certezas que produz". Distanciamos cada vez mais "os efeitos futuros das causas presentes



presumidas", de modo que tais incertezas produzem "uma dilação no tempo que engana as faculdades de antecipação" (OST, 2005, p. 326).

Os "modernos" desenvolveram métodos e artefatos dos mais variados para prevenir. Em muitos casos, é a melhor orientação, mas a existência de vários procedimentos que limitam o risco não garante a ausência de erros humanos individuais ou sequenciais (CALLON; LASCOUMES; BARTHE, 2009, p. 193). A abordagem de prevenção de risco pode, todavia, ser diferenciada da precaução. No campo jurídico e das políticas ambientais, por exemplo, já se tem vinculado a prevenção à gestão de um risco identificado, enquanto a precaução corresponde à administração da incerteza. A precaução se aplica às situações nas quais somos obrigados pelas circunstâncias a reconhecer a incapacidade para antever os riscos, de estabelecer nexos causais entre uma atividade e possíveis danos; quando somos incapazes de projetar a sua magnitude e controlar seus efeitos. A dramaticidade aumenta quando o possível impacto projetado, ainda de forma precária, faz temer resultados catastróficos. O processo de tomada de decisão, nesses casos, embora possa estar baseado no melhor conhecimento científico disponível, se desenvolve em situações de indeterminação, ambiguidade ou ignorância. Em ambas, prevenção e precaução, a responsabilidade implica "previsão", o "conhecimento torna-se uma prioridade". Mas as situações que demandam o princípio da precaução põem em xeque a atitude do jogador que "assume o risco da ignorância e aposta o destino das gerações futuras". Por isso, é preciso "conhecer e mensurar, entender e pensar antes de agir" (OST, 1995, p. 296). Todavia, segundo Ost (1995, p. 296), "o conhecimento completo das consequências a longo prazo nos escapa". Estamos diante de um novo dilema: "A obrigação de saber diante da inevitabilidade da incerteza". Se durante séculos "assumimos o risco de uma certa ignorância", iludidos pela "utopia moderna", da "crença no progresso pela história e pela ciência", agora somos forçados a reconsiderar essa atitude (OST, 1995, p. 296).



Como observam Ost e Hoecke (1999, p. 624), "os riscos gerados pela sociedade industrial são de uma gravidade potencial tal que não podemos nos limitar às 'consequências previsíveis' de nossas decisões". Essa condição traz, segundo os autores, o "dilema da responsabilidade", que se expressa da seguinte forma, nas palavras de Ricoeur (1997, p. 59): "[a] completa negligência dos efeitos laterais da acção tornaria esta desonesta, mas uma responsabilidade ilimitada tornaria a acção impossível." A ação humana deve seguir o preceito grego "nada em excesso" (*meden agan*), entre a visão de curto prazo, de uma responsabilidade limitada aos efeitos previsíveis e controláveis de uma ação, e a visão, a longo prazo, de uma responsabilidade ilimitada, há que se encontrar uma "medida justa" (Ricoeur, 1997, p. 59).

Ao jurista, ao agente público, ao empreendedor, ao cientista e à sociedade em geral se impõem decisões, cujos possíveis resultados negativos não são conhecidos no curto e médio prazo, aos quais se aplica o princípio da prevenção, mas também há situações cujo potencial de danos é desconhecido, não mensurável em sua dimensão ou probabilidades (incerteza); nessas circunstâncias, impõe-se uma nova lógica, a de precaução. No primeiro caso, observamos a possibilidade de imposição de responsabilidade "prospectiva", vinculada a critérios mais objetivos de risco (análise de risco). Nessa hipótese, as autoridades decisoras terão a possibilidade de avaliar dados por técnicas e metodologias adequadas, compará-los a outras situações idênticas ou semelhantes, referir-se a decisões tomadas por outras autoridades como fundamento para determinar obrigações legais, aplicar diretrizes, protocolos e outras orientações provenientes de instituições como o Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Organização Mundial da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). No segundo caso, não se afasta a necessidade de fundamentar as decisões no conhecimento científico, mas este é reconhecidamente incompleto, contraditório, incerto.



O princípio da precaução recomenda uma atitude prudencial nos frequentes casos de incerteza científica quanto aos possíveis efeitos nocivos de uma atividade ou produto. A “ausência de certeza científica absoluta” não deve ser “utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental” (Princípio 15 da Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 1992). A aplicação do princípio pode ser por meio de: a) exigências de disponibilização de mais informações sobre os riscos e o impacto ambiental de produto ou processo; b) imposição do controle e monitoramento dos riscos; ou c) proibição da comercialização ou da liberação no meio ambiente de determinada substância ou produto, com base na gravidade e na irreversibilidade dos possíveis danos. (BERGER FILHO, 2018).

Em 2008, o Grupo de Trabalho do Comitê Permanente, durante o VI Fórum Intergovernamental sobre Segurança Química¹⁰, em documento intitulado “Nanotecnologia e nanomateriais manufaturados: oportunidades e desafios”, recomendou o princípio da precaução como um princípio geral de gestão de risco ao longo do ciclo de vida de nanomateriais manufaturados. Segundo o documento supracitado, embora existam muitas “dúvidas e brechas no conhecimento a respeito dos possíveis impactos adversos dos nanomateriais manufaturados”, não nos encontramos em uma “ignorância absoluta”. Conforme o mesmo texto, “[a]s provas toxicológicas iniciais indicam que ao menos alguns dos nanomateriais manufaturados podem provocar danos graves sobre os seres humanos e o meio ambiente se utilizadas de forma inadequada durante seu ciclo de vida” (IFCS FORUM VI, 2021). Também o Conselho Consultivo Alemão do Meio Ambiente (GERMAN ADVISORY

¹⁰ Em 1994, durante a Conferência Internacional de Segurança Química, realizada em Estocolmo, na Suécia, foi criado o Fórum Intergovernamental sobre Segurança Química (FISQ), que conta com a participação de agências internacionais, como a OMS, OIT, PNUMA, UNITAR, FAO, UNIDO e outras, assim como dos países-membros das Nações Unidas, de organizações privadas, do meio científico e da sociedade civil.



COUNCIL ON THE ENVIRONMENT, 2021) definiu a precaução como princípio orientador para lidar com nanomateriais. Segundo o Conselho Consultivo Alemão do Meio Ambiente, existem "lacunas consideráveis em diversas áreas que impõem a aplicação do princípio da precaução. Em certos casos, já existe "preocupação suficiente para justificar uma necessidade específica para a ação", como o uso de *sprays* que contêm nanopartículas de prata, nanotubos de carbono como um possível potencial carcinogênico, notadamente na exposição durante a produção e processamento, assim como aplicações em ambiente aberto de óxido de ferro em nanoescala (GERMAN ADVISORY COUNCIL ON THE ENVIRONMENT, 2021).

7 A RESPONSABILIDADE PARTICIPAÇÃO E OS DIREITOS PROCESSUAIS À INFORMAÇÃO, À CONSULTA E O DIREITO DE ACESSO À JUSTIÇA

Pesquisadores, trabalhadores da indústria, agricultores e consumidores são os primeiros a serem lembrados, como expostos aos riscos da nanotecnologia, entretanto, com a dispersão no ambiente das nanopartículas – cuja dinâmica, interação e efeitos são, até então, em sua maior parte, desconhecidos – nem sempre será fácil determinar quem serão as vítimas. Ademais, é muito provável que não seja viável estabelecer no curto prazo "a relação causa-efeito entre a exposição às nanopartículas sintéticas e os danos sofridos, que só se sentirão muito mais tarde, ou que poderão ser agravados pela sua interação com outras partículas presentes no corpo humano ou no ambiente" (MELO, 2021). Os riscos da nanotecnologia não estão restritos às categorias profissionais, classes sociais e não ficarão limitados às fronteiras políticas ou ao tempo da geração presente. Como o conhecimento científico é limitado, as decisões relativas a incertezas devem ser democratizadas. Nessa hipótese, à sociedade, como possível vítima e interessada, deve



ser sempre dado o direito de opinar e proporcionar o direito de saber. É necessário buscar o equilíbrio entre o conhecimento dos especialistas e a deliberação democrática na tomada de decisões. Os sistemas de responsabilização serão insuficientes quando faltar a abertura do sistema jurídico para a “responsabilidade-participação” (OST, 1995, p. 313). Assim, a ideia de responsabilidade jurídica ambiental deve incluir, de forma dialética, além da responsabilidade retrospectiva (civil, criminal e administrativa), da responsabilidade prospectiva da prevenção (e precaução), a responsabilidade como participação coletiva da sociedade nas questões ambientais. (OST; VAN HOECKE, 1999, p. 624).

Trata-se também de uma “responsabilidade compartilhada” (OST, 1995, p. 313), que envolve a colaboração de autoridades públicas, empresas, associações, cidadãos etc., e não o monopólio de qualquer um desses atores. Nesta perspectiva, segundo Ost, “o direito fundamental ao meio ambiente deve ser entendido como um privilégio de concorrer em sua defesa”. O reconhecimento dos “direitos processuais” dos cidadãos à informação, participação e ao acesso à justiça se incorpora à responsabilidade ecológica e “prolongam sua democracia representativa tradicional com uma nova democracia participativa” (OST, 1995, p. 316).

Quanto ao dever de informar e o direito de ser informado, o Brasil conta com uma lei generalista sobre o acesso público aos dados e informações ambientais existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). A Lei 10.650/03 obriga aos órgãos do SISNAMA que permitam o acesso público e forneçam todas as informações ambientais que estejam sob sua guarda, incluídas as informações sobre substâncias tóxicas e perigosas, excetuando-se quando sob “sigilo comercial, industrial, financeiro ou qualquer outro sigilo protegido por lei”. No caso das nanotecnologias, como não existem exigências específicas e as nanopartículas engenheiradas mais usadas não são classificadas por lei como substâncias perigosas, os órgãos ambientais não possuem tais informações, normalmente exigidas nas



licenças ambientais. Nesse sentido, poder-se-ia seguir o exemplo do ordenamento francês, também usado na Bélgica e na Dinamarca, que foi o primeiro a adotar instrumentos legais para impor o dever de informação sobre nanopartículas engenheiradas. Nos países europeus acima, sob pena de sanção administrativa, mesmo que não cause danos ou exponha comprovadamente a sociedade a risco, uma empresa poderá ser responsabilizada por não cumprir a obrigação legal de informar o Estado. Trata-se de uma forma de o Estado manter um banco de dados sobre os usos dos nanomateriais, como um instrumento de gestão de riscos, incluindo a possibilidade de rastreamento em caso de algum dano atribuído à dispersão no ambiente ou danos à saúde. Não há, entretanto, liberdade irrestrita de acesso à informação, visto que é possível restringi-la ao público com fundamento no segredo industrial.

A garantia do acesso à justiça ambiental, a ampla participação da sociedade nos processos de tomada de decisão e a garantia do acesso à informação em matéria de risco ambiental, além de serem direitos do cidadão e da sociedade, tendem a, no longo prazo, trazer melhores resultados que decisões autoritárias e/ou pensadas apenas sob o enfoque meramente tecnicista. Isso se torna um grande desafio às sociedades que, em sua maioria, desconhecem os riscos dos produtos que consomem e das atividades econômicas que os circundam, resultado da falta de interesse político e das indústrias de informar de forma clara e precisa sobre o risco potencial destes. A nanotecnologia enquadra-se claramente nessa realidade de desinformação e desinteresse das autoridades quanto aos riscos, com um agravante, não existem normas que imponham identificação dos "nanoprodutos", "nanopartículas" ou "nanoresíduos". No Brasil, a maior parte da população não conhece ou pouco sabe sobre nanociência e a nanotecnologia. A avaliação e a regulação dos nanomateriais requerem mecanismos que assegurem a transparência, incluindo: a adequada rotulagem dos produtos que contenham nanomateriais, o reconhecimento do direito do cidadão, sobretudo dos



trabalhadores, de saberem sobre os riscos a que estão expostos e as normas e medidas de proteção necessárias, além do direito da sociedade de acessar informações periódicas sobre os mais recentes estudos relativos aos riscos e impactos da nanotecnologia à saúde e ao meio ambiente.

8 PROPOSTAS DE REGULAÇÃO “NANOESPECÍFICA” NO BRASIL

O primeiro projeto de lei relativo à nanotecnologia visava à criação de um marco geral sobre “nanosseguença”. O PL nº 5.076/05 foi rejeitado pelas Comissões de Desenvolvimento Econômico, Indústria e Comércio e de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática e pela Comissão de Finanças e Tributação da Câmara dos Deputados e foi posteriormente arquivado em 2007. O projeto pretendia implantar a Política Nacional de Nanotecnologia, criar a CTNano (Comissão Técnica Nacional de Nanosseguença), além de instituir a FDNano (Fundo de Desenvolvimento de Nanotecnologia). O segundo projeto apresentado e rejeitado foi o PL nº 131, de 2010, que objetivava alterações pontuais no Decreto-lei nº 986, de 21 de outubro de 1969, que institui normas básicas sobre alimentos, e na Lei nº 6.360, de 23 de setembro de 1976, relativa à vigilância sanitária, a que ficam sujeitos os medicamentos, as drogas, os insumos farmacêuticos e correlatos, cosméticos e saneantes. O texto do projeto de lei previa que os rótulos, as bulas, os impressos, as etiquetas, as embalagens, os prospectos e os materiais publicitários referentes aos produtos, medicamentos, drogas, insumos farmacêuticos e correlatos, cosméticos e saneantes, elaborados com recurso à nanotecnologia, trouxessem a informação de maneira ostensiva sobre esse fato. A justificativa do projeto destaca a importância da nanotecnologia no desenvolvimento de novos produtos e o crescimento de nanoprodutos que já estão no mercado. O PL nº 131, de 2010, foi submetido à aná-



lise da Comissão de Assuntos Sociais e à análise da Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e à Comissão de Controle e Fiscalização da Câmara, que se manifestaram pela sua rejeição, entendendo-o como uma proposta de intervenção legal desnecessária, já que tal exigência não deveria constar uma lei ordinária, pois a Anvisa possui competência para regular a matéria, por meio de norma infralegal. Ademais, as exigências de informação, segundo análise da Comissão supracitada, seriam desprovidas de base científica, além de poderem causar confusão e alarmes desnecessários ao consumidor e prejuízos econômicos às empresas. No ano de 2013 foram propostos dois projetos de lei: a) o Projeto de Lei nº 5.133, de 2013, que objetivava tornar obrigatória a rotulagem de produtos que fazem uso de nanotecnologia; b) o Projeto de Lei nº 6.741, de 2013, que dispõe sobre a Política Nacional de Nanotecnologia, o incentivo à pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e o controle pelo Poder Público dos riscos e impactos decorrentes das atividades de nanotecnologia. A rotulagem dos produtos que façam uso da nanotecnologia, apresentada no PL nº 5.133, de 2013, é justificada pelo direito de informação do consumidor sobre possíveis riscos. Tal projeto de lei determina que a informação deveria ser colocada no rótulo de produtos obtidos por processos nanotecnológicos, ou que contivessem nanopartículas em sua composição, ou que fossem produzidos a partir de processo de nanotecnologia, assim como alimentos ou ingredientes produzidos com animais que recebessem ração com "nanoprodutos". Essa informação se aplica a cosméticos, fármacos e alimentos. Já o PL nº 6.741, de 2013, propôs a criação de Política Nacional de Nanotecnologia, uma política pública de gestão dos riscos do desenvolvimento da nanotecnologia, observados os princípios da informação, transparência, participação social, precaução, prevenção e responsabilidade social (art. 2º). A implementação da Política Nacional de Nanotecnologia estaria fundamentada em quatro instrumentos (art. 3º): a) o cadastro nacional para o controle e o acompanhamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento



tecnológico, geração, comercialização e inserção no mercado de nanoproductos; b) a autorização do Poder Público no que se refere à saúde humana, animal e ambiental para a pesquisa, produção e comercialização de nanoproductos ou derivados de processos nanotecnológicos; c) a exigência de estudos de impacto ambiental para liberação de nanoproductos no meio ambiente; e d) o fomento à realização de estudos e pesquisas sobre os efeitos de nanoproductos sobre a saúde humana e animal e sobre o meio ambiente. Também estava na base do projeto a imposição de planos de monitoramento específicos para processos e produtos nanotecnológicos, quando o Poder Público entender que estes possam causar danos ao meio ambiente ou à saúde humana ou animal (art. 9º). A mesma proposta legislativa também se refere: a) à possibilidade de o órgão de registro e fiscalização indeferir ou suspender o registro do processo ou o produto da nanotecnologia nos casos em que resultados de monitoramentos realizados em outros países indicarem efeitos indesejáveis ao meio ambiente ou à saúde humana ou animal; b) à imposição de planos de resíduos com base na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10) para a disposição adequada de rejeitos da nanotecnologia; c) ao dever de notificação de acidentes envolvendo nanoproductos, conforme a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/12); d) ao vínculo entre a aplicação de recursos públicos em nanociência/nanotecnologia e o interesse público, bem como a vedação destes para fins não pacíficos; e) à vedação do patenteamento de produtos ou processos nanotecnológicos obtidos a partir de seres vivos, bem como a proibição de pesquisa, a utilização, a comercialização, o registro, o patenteamento e o licenciamento de nanotecnologias de restrição de uso; f) às responsabilidades e sanções relativas ao não cumprimento das medidas necessárias à prevenção e precaução dos inconvenientes e danos causados por atividades derivadas da nanotecnologia.

Em 2019, iniciou a tramitação no Congresso Nacional Brasileiro do Projeto de Lei 880/2019, que visa instituir um Marco Legal para Nanotecnologia e Materiais Avançados. Em sua versão original, o proje-



to de lei dispõe desenvolvimento científico à pesquisa e à capacitação científica e tecnológica na área de nanotecnologia, à inovação, apoio ao desenvolvimento e a utilização de nanotecnologias por empresas brasileiras, com vistas à melhora na qualidade dos produtos e serviços com insumos nanotecnológicos no mercado nacional e na maior produtividade e competitividade, inclusive instituindo programas nacionais como o de nanosegurança e de desenvolvimento de materiais avançados. O Projeto de Lei 880/2019 foi aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça (CCJ) com emenda substitutiva global, segundo o parecer do Senado Federal nº 29, de 2020, do Senador Jorginho Mello

a partir do recebimento de sugestões de aprimoramento do texto original do PLS nº 880, de 2019, encaminhadas, entre outros, por segmentos organizados da sociedade, universidades e Ministério Público, com destaque para as contribuições do Grupo de Trabalho do Ministério Público do Trabalho cujo objeto é a saúde e a segurança do trabalho em nanotecnologia. [Incorporando] princípios e diretrizes constitucionais e legais de proteção ambiental (art. 225 da Constituição Federal) e de saúde e segurança do trabalho (art. 7º, inciso XXI c/c o art. 218, § 3º, ambos da Constituição Federal) no âmbito das atividades científicas, tecnológicas e nanotecnológicas. (BRASIL, 2020, p. 8)

Conforme o texto do substitutivo, as atividades de inovação e de pesquisa científica, tecnológica e nanotecnológica, no âmbito desta Lei, observarão os princípios que visam a assegurar o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, em especial os princípios: I – da precaução; II – da sustentabilidade ambiental; III – da consideração dos impactos; IV – da solidariedade; V – da responsabilidade do produtor; VI – da boa-fé, cooperação, lealdade e transparência entre todos os agentes envolvidos; VII – da participação e da informação ao público e à sociedade.



O Projeto de Lei 880/2019 avança positivamente na valorização da nanotecnologia, a partir de estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação nanotecnológica, no estabelecimento de uma estrutura institucional e de uma agenda propositiva do desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, na busca da segurança jurídica e da desburocratização. Recua, entretanto, no estabelecimento de instrumentos e mecanismos para o controle e o monitoramento dos riscos ambientais das nanotecnologias, embora o texto emenda substitutiva global mencione os princípios supracitados.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente texto, a partir da perspectiva de responsabilidade-projeto desenvolvida por Ost, propôs-se a avaliar as possibilidades sistema de responsabilização ambiental e o cenário da regulação jurídica e governança dos riscos do desenvolvimento da nanotecnologia. Em que pese a existência de 4 proposições legislativas arquivadas e um projeto de lei em tramitação no congresso nacional, relativos à instituição de um marco legal para nanotecnologia e materiais avançados, o ordenamento jurídico brasileiro é atualmente ausente de normas específicas de gestão de riscos da nanotecnologia. A falta de normas "nanoespecíficas" voltadas para a gestão dos riscos no Brasil, como ficou demonstrado, não impossibilita, contudo, a responsabilização por danos ambientais e à saúde humana, decorrentes de nanomateriais, nanopartículas e aplicações das nanotecnologias. No Brasil vige ampla cobertura de responsabilização por dano ao meio ambiente e à saúde humana (responsabilidade civil, criminal e administrativa).

No que concerne à responsabilização a partir de sanção decorrente da imputação de uma falta, cabe a responsabilização civil, criminal e administrativa decorrentes de violação da norma. No campo da responsabilidade criminal, há a possibilidade de imputação pelo dano, por



exemplo, nos casos de poluição (art. 54 da Lei 9.605/98) e pelo crime de perigo no Direito Ambiental (arts., 54, §3º e 56 da Lei nº 9.605/98) como no Direito do Consumidor (arts. 63 e 64 da Lei nº 8.078 de 1990). O ordenamento jurídico brasileiro, além da tradicional responsabilização civil subjetiva, possibilita a cobertura da responsabilidade objetiva em matéria ambiental, independentemente da assunção de culpa, fundada na teoria do risco integral, e na busca de efetividade na restauração do dano, dimensão reparatória do princípio do poluidor-pagador. As incertezas decorrentes do desenvolvimento das tecnologias emergentes e da escassez de informações sobre os riscos das nanotecnologias, todavia, resultam em possíveis dificuldades na verificação do nexo causal entre atividade, produto, substância, material e os danos, assim como no estabelecimento das probabilidades de ocorrência de eventos danosos.

A dimensão da responsabilidade preventiva e precaucional tem ampliado sua presença no ordenamento jurídico brasileiro, em decorrência dos avanços legislativos e jurisprudenciais, com influência na gestão Estatal dos riscos ambientais incorporados e operacionalizados em políticas públicas. O dever de prevenção e precaução diante dos riscos ambientais se estende ao direito penal e ao direito administrativo sancionador nos delitos formais, quando a conduta não necessita da consumação do dano, de modo que a ameaça de danos ambientais e a saúde humana é suficiente para a imputação do ilícito. Existem também aqueles que defendem o alcance da precaução no âmbito da responsabilidade civil. Ademais, a natureza principiológica da precaução e da prevenção traz consigo potencial para responder aos "desafios de construção de novos marcos legais", da "harmonização das normas existentes" e "da formação de parâmetros legítimos, democráticos e proporcionais para a tomada de decisão em situações de incerteza" (BERGER FILHO, 2018).



No caso das nanotecnologias, a “responsabilidade-participação” deve partir do reconhecimento do papel de diversos atores sociais na gestão e governança dos riscos. É dever constitucional do Estado assegurar a participação da sociedade nos processos de tomada de decisão em matérias que envolvam riscos ambientais. Uma das mais importantes questões que devem ser enfrentadas nas estratégias de regulação “nanoespecíficas” no Brasil dizem respeito à informação e comunicação dos riscos. Regras relativas ao dever legal de informar e ao direito de acesso à informação são requisitos essenciais para o desenvolvimento de ferramentas apropriadas à gestão de riscos complexos e das incertezas dos nanomateriais para o ambiente e à saúde humana, ampliando o conhecimento científico e, ainda, possibilitando aos consumidores adotarem escolhas informadas. Nesse caso, a solução pode passar pelo estabelecimento de regimes obrigatórios de comunicação de informações. Como exemplos temos a imposição de registro para a declaração de uso, comércio e manipulação de nanopartículas engenheiradas em cadastros obrigatórios, mantidos pelo Estado – protegidos os dados quando justificado pelo segredo industrial –, bem como sistemas de rotulagem e outras formas de informação para consumidores.

REFERÊNCIAS

BERGER FILHO, Airton Guilherme. Regulação e governança dos riscos nanotecnológicos: modelo da rede e transnacionalização do direito. **Revista Administración Pública y Sociedad**, v. 5, jun. 2018, p. 67-83, 2018.

BERGER FILHO, Airton Guilherme. **Regulação e governança dos riscos das nanotecnologias**. 1. ed. Belo Horizonte: Arraes Editora, 2018.

BORGES, Isabel Cristina Porto; GOMES, Taís Ferraz; ENGELMANN, Wilson. **Responsabilidade Civil e Nanotecnologias**. São Paulo: Atlas, 2014.



BRASIL. **Parecer do Senado Federal nº 29, de 2020**. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8054337&ts=1576100113601&disposition=inline>. Acesso em: 25 de jun. 2021.

BRASIL. STJ. **REsp 1417279**. Rel. Min. Sebastião Reis Júnior. Julg. 22/09/2015.

BRASIL. STJ. **AgRg no REsp 1.418.795-SC**, Rel. Ministro Marco Aurélio Bellize, Rel. para acórdão Regina Helena Costa, Quinta Turma, DJe 7/8/2014.

CALLON, Michel; LASCOUMES, Pierre; BARTHE, Yannick. **Acting in an uncertain world**. An essay on technical democracy. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2009.

CARVALHO, Délton Winter de. **Dano ambiental futuro**: a responsabilização civil pelo risco ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013.

COSTA NETO, Nicolao Dino de Castro e. **Proteção Jurídica do Meio Ambiente**, I- Florestas. Belo Horizonte: Del Rey, 2003.

ENGELMANN, Wilson; ALDROVANDI, Andrea; BERGER FILHO, Airton Guilherme. Perspectivas para a regulação das nanotecnologias aplicadas a alimentos e biocombustíveis. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, p. 115-127, 2013.

GERMAN ADVISORY COUNCIL ON THE ENVIRONMENT. **Precautionary Strategies for managing Nanomaterials**. Chapter 7: Conclusions and Recommendations. Disponível em: http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/EN/02_Special_Reports/2011_08_Precautionary_Strategies_for_managing_Nanomaterials_chapter07.pdf;-jsessionid=E6313C90A31C6D2CE4BC3A1DD021ADAA.1_cid325?__blob=publicationFile. Acesso em: 25 jun. 2021.



GRUPO ETC. **La Inmensidad de lo Mínimo**: breve introducción a las tecnologías de nanoescala. p. 5. Disponível em: www.etcgroup.com. Acesso em: 15 jan. 2021.

IFCS FORUM VI. **Nanotechnology and manufactured Nanomaterials: Opportunities and Challenges**. Disponível em: http://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum6/meet_docs/en/. Acesso em: 12 abr. 2021.

MELO, Elena Pereira de. **"No data, no market"**: A aplicação do princípio da precaução à nanotecnologia. Disponível em: www.estig.ipbeja.pt/~ac_direito/HPM10.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

NUCCI, Guilherme de Souza. **Leis penais e processuais penais comentadas**. v. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992.

OST, François. La responsabilité, fil d'Ariane du droit de l'environnement. **Droit et Société**, n. 30/31, 1995.

OST, François. **A natureza à margem da lei**: a ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.

OST, François; VAN HOECKE, Mark. **Del contrato a la transmisión**. Doxa, 22, p. 607-630, 1999.

OST, François. **O tempo do direito**. Bauru: Edusc, 2005.

PRADO, Alessandra Rapassi Mascarenhas. **Proteção Penal do Meio Ambiente**. São Paulo: Atlas, 2000.

RICOEUR, Paul. **O justo ou a essência da justiça**. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.

ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION. **Novel Materials in the Environment**: The case of nanotechnology. Twenty-seventh report. 2008.



ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties.** London: The Royal Society: The Royal Academy of Engineering, 2004.

SANTOS, Cláudia Maria Cruz; DIAS, José Eduardo de Oliveira Figueiredo; ARAGÃO, Maria Alexandra de Sousa. **Introdução ao direito do ambiente.** coord. José Joaquim Gomes Canotilho. Lisboa: Universidade Aberta, 1998.

STEIGLEDER, Annelise Monteiro. **Responsabilidade civil ambiental: as dimensões do dano ambiental no Direito Brasileiro.** 3. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2017.

TAVARES, Edval da Silva; SILVA, Gabriela losqui. **Os possíveis riscos das nanotecnologias: Quais os desafios para o setor de seguros?** Cadernos de Seguros, Ed.19, 2020. Disponível em: <https://cadernosde-seguro.ens.edu.br/pdf/cadseg197v2nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2021.



O RISCO NA SOCIEDADE COMPLEXA E TECNOLÓGICA: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA LUHMANIANA¹

**André Rafael Weyermüller
Leonel Severo Rocha**



1 INTRODUÇÃO

Sociedades complexas reproduzem realidades de risco em proporções nunca experimentadas. Os efeitos da globalização potencializam a distribuição de riscos por todo o planeta, cada vez mais populoso e pressionado por demandas ambientais que são, em grande medida, provocadas ou pioradas pelas intervenções humanas.

O processo de produção desses riscos se inicia nas necessidades supridas pelos inúmeros processos de transformação do meio em produtos que suprem as mais diversas necessidades das sociedades, as quais têm maior acesso quanto mais têm a capacidade de implementar um processo de constante inovação tecnológica. Necessidades de consumo criadas e essenciais se misturam dentro da operação sistêmica da Economia.

A partir dessa lógica preponderantemente econômica, o processo de decisão complementa esse contexto de riscos na medida em que o risco mais evidente produzido é o risco da decisão conforme a teoria dos sistemas autopiéticos de Niklas Luhmann, o referencial teórico da pesquisa.

¹ Texto produzido durante estágio de pós-doutorado na URI-Santo Ângelo



Para tentar direcionar decisões que possam significar riscos evidentes para a saúde e meio ambiente, posturas antecipadoras aos danos possíveis estão relegadas à lógica operativa do sistema social do Direito e sua operação baseada na legalidade ou ilegalidade.

A pesquisa se justifica em face das complexas dificuldades que o sistema do Direito tem em exercer controle sobre riscos produzidos em diversas áreas pela sociedade, mormente aqueles resultantes das incertezas que determinadas tecnologias produzem. As nanotecnologias representam essa nova perspectiva de riscos que não tem legislação específica para promover ações de controle. A ausência de regra específica implica na necessidade de atuação do Direito por meio de normas mais genéricas e orientadoras.

Busca-se assim, nesse contexto de riscos produzidos pelas tecnologias, com destaque à nanotecnologia, avaliar em que medida o sistema do Direito alcança algum grau de efetividade na prevenção/precaução aos efeitos futuros dessa nova e promissora tecnologia e se medidas antecipadoras baseadas nos princípios da precaução e da prevenção são adequadas e necessárias.

Para evoluir nesse tema, objetiva-se conhecer a realidade de uma sociedade de risco como bem delimitada por Beck e, assim, localizar o atual contexto tecnológico. Para observar todo esse contexto de maneira mais apurada e sofisticada, objetiva-se expor algumas linhas gerais da teoria dos sistemas autopoieticos que contribui de forma definitiva para diagnosticar as dificuldades comunicativas verificadas entre os sistemas sociais. Diferenciar conceitualmente precaução e prevenção também se impõe para avaliar a dimensão do risco nano para as sociedades complexas.

2 SOCIEDADE TECNOLÓGICA E RISCO

Um dos temas mais atuais e relevantes para o futuro da sociedade é, sem dúvida o risco, presente na sociedade contemporânea produtora



de realidades de riscos e perigos daí resultantes. Riscos e perigos fazem parte de uma mesma equação complexa diretamente relacionada com os avanços tecnológicos que criam benefícios e ao mesmo tempo malefícios, numa clara ambiguidade, sendo que a caracterização de uma sociedade de risco "tem a ver basicamente com a velocidade do desenvolvimento tecnológico em esferas que cientificamente são da alçada da física, da química e da biologia" (LUHMANN, 1983, p. 127).

A possibilidade de danos futuros na forma de problemas de saúde e ambientais implica em compreender de forma ampla e complexa esse processo de cumulação tecnológica e também de defasagem do sistema do Direito na tutela de riscos e perigos, resultantes de suas próprias ações e que revelam um problema de contexto que afeta todos os sistemas sociais parciais (BECK, 1998, p. 90). A preocupação e consciência com as consequências sobre o meio ambiente é fundamental num contexto de riscos que estão intimamente relacionados com as decisões e suas repercussões futuras que expõem sobremaneira "a imensa vulnerabilidade da natureza à intervenção técnica do homem" (JONAS, 1995, p. 32).

Essas decisões de repercussões futuras estão, em grande medida, relacionadas com a busca pela estabilidade e bem-estar proporcionadas pelo desenvolvimento e pela melhoria nas condições de vida, tal como o objeto do modelo do Estado Social, sede dos direitos de segunda geração (TRINDADE, 1993, p. 223-225). Nesse contexto, o desenvolvimento tecnocientífico acabou revelando incertezas que marcam a Sociedade de Risco (global), na qual se verifica a distribuição desigual de riscos (BECK, 1998).

Analisar a complexidade da sociedade tecnológica de hoje exige uma correta compreensão do significado e origem do risco como evento resultante, sobretudo, de processos decisórios, os quais ficam cada vez mais acelerados e multifacetados pela realidade. Mesmo com maior proeminência na atualidade, a noção de risco não surgiu em nosso tempo, mas sim no tempo do comércio realizado por meio das navegações



de longa distância. Risco pode ter uma origem árabe, sendo que, na Europa, "a expressão já aparece em alguns escritos medievais, porém é a partir do surgimento da imprensa que ela se espalha; em primeiro lugar, aparentemente, na Itália e na Espanha." (LUHMANN, 1992, p. 51-52).

Na verdade o conceito e significado de risco (GIDDENS, 2000, p. 32-34) sequer era conhecido na Idade Média, mas sim nos séculos XVI e XVII com as viagens marítimas, que representavam um grande risco devido ao desconhecido, mas também devido aos novos negócios, fato que reforça a prevalência da operação do sistema da Economia. Desde essa época, oportunidades estavam associadas a riscos.

Certamente que, na atualidade, o conceito de risco ampliou-se e tornou-se mais aplicável, sobretudo no processo decisório. Decidir bem é necessário para tentar evitar consequências negativas de riscos frente às incertezas. Porém, é preciso ter presente que "não existe nenhuma conduta livre de risco" (LUHMANN, 1992, p. 72), seja ela individual, estatal ou corporativa. Certamente que o conteúdo das decisões tomadas hoje podem repercutir de forma imprevisível, pois "o que pode acontecer no futuro depende da decisão que se toma no presente. Pois, de fato, falamos de risco apenas quando se precisa tomar uma decisão sem a qual poderia haver prejuízo" (LUHMANN, 1992, p. 59).

Tem-se cada vez mais situações complexas, novas e imprevisíveis que precisam de atitudes de precaução (BERTALANFFY, 1975, p. 271). Assim, "risco é o enfoque moderno da prevenção e do controle das consequências futuras da ação humana, das diferentes consequências não-desejadas da modernização radical" (BECK, 2002, p. 5).

A construção de uma realidade sempre está precedida por um processo longo de desenvolvimento e acumulação de experiências e técnicas. O atual quadro de riscos globais potencializados pela tecnologia tem origem histórica na denominada Sociedade Industrial que antecede a Sociedade de Risco. A previsibilidade dos eventos e das atividades dá lugar a uma dimensão globalizada que afeta a todos indistintamente, até aqueles que os produzem na forma que Ulrich Beck denomina por



"efeito bumerangue", onde as consequências podem se voltar contra quem produziu a fonte de dano (BECK, 1998, p. 43).

A segurança que se acreditava ter no passado revelou-se algo inexistente no atual contexto das sociedades complexas baseadas em processos de desenvolvimento globalizados e tecnológicos, que aumentam o risco e a realidade de incertezas que implicam em riscos distintos, quais sejam o exterior e o provocado. (GIDDENS, 2000, p. 35).

Precaução e prevenção têm relação com essa diferenciação entre risco externo e criado. Assim, pode-se diferenciar risco e perigo principalmente no que se refere ao processo de tomada de decisão, pois,

no contexto geral de uma insegurança com respeito ao futuro e de um dano possível, poder-se-ia falar de risco quando qualquer dano seja imputado a uma decisão, isto é, quando este dano deva ser tratado como consequência de uma decisão (ou daquele que decide ou de outros). O conceito oposto seria então o conceito de perigo, que é aplicável quando danos possíveis sejam imputados ao exterior. (DE GIORGI, 1998, p. 227).

A noção de risco que se pretende destacar é justamente a formulada por Niklas Luhmann. Quando eventuais danos são resultado de decisões, fala-se de riscos (LUHMANN, 1997, p. 132-133); quando danos ocorrem sem que seja possível controle, fala-se de perigos, os quais cada vez mais são influenciados pela sociedade complexa. Para Luhmann, uma mesma ação pode representar risco para um bem, como pode representar perigo para outro (LUHMANN, 1992, p. 155). Assim, existe uma evidente interligação entre risco e perigo, que para o autor é uma questão de forma.

Assim, pode-se formular que toda sociedade está, de uma maneira ou de outra, sujeita à insegurança, na medida em que "desde meados do século XX, as instituições da sociedade industrial enfrentaram a possibilidade, sem precedentes na história, da destruição de toda vida



no planeta através das decisões que são tomadas" (BECK, 2002, p. 83).
Infelizmente,

o modelo proveniente da revolução industrial, que prometia o bem-estar a todos, não cumpriu aquilo que prometeu, pois, apesar dos benefícios tecnológicos, trouxe principalmente, em seu bojo, a devastação planetária indiscriminada. (LEITE, 2000, p. 22).

Os perigos que representam os eventos naturais passam a ser ampliados pela "imprevisibilidade dos perigos produzidos pelo desenvolvimento tecnoindustrial" (BECK, 2002, p. 122) centrados em decisões que não consideram as consequências futuras, o que gera insegurança. Os perigos passam de naturais e aleatórios para perigos provocados e que não podem ser previstos em sua totalidade, escapando muitos deles de mecanismos como seguros e normas com os quais se pretende esse controle, indicando assim uma distinção entre os perigos e os riscos "que dependem de decisões, que em princípio podem ser controladas" (BECK, 2002, p. 49).

Os perigos são eventos sobre os quais não é possível exercer um controle desejável apesar do desenvolvimento tecnológico, sendo assim um paradoxo. Não há como controlar o futuro por técnicas como se acreditava no passado. Talvez esse seja o grande paradoxo a ser enfrentado pelas sociedades complexas, uma vez que a segurança depositada na tecnologia para resolver os efeitos indesejáveis das decisões mostra-se hoje ambígua e fonte de mais incertezas.

Os riscos e perigos resultantes da complexidade da realidade atual não respeitam fronteiras, conectando-se à dimensão planetária. A pandemia iniciada em 2020 revela de maneira muito clara a conexão mundial tanto para aspectos positivos quanto negativos da globalização. Essa visão geral sobre o risco e o perigo é contextual para a localização da sociedade tecnológica. A tecnologia em si é uma conquista da



humanidade. Porém, sua característica ambígua precisa ser compreendida para superar, ao menos em parte, algumas incertezas do futuro.

O que conecta a tecnologia com o Direito é a questão da decisão. A decisão se refere tanto à aplicação de normas quanto à decisão no momento da utilização de elementos tecnológicos em larga escala pela Economia no consumo da sociedade. A tecnologia pode ser um fator de risco e ao mesmo tempo, e paradoxalmente, uma necessidade. O Direito, ao produzir-se, dá-se também de forma paradoxal. A decisão está ligada ao futuro e à necessidade de controle.

A inovação constante e o ambiente de inovação tecnológica se desenvolvem pela ação do sistema social da Economia e seu código binário que distingue lucro de não-lucro como operação mais essencial, uma lógica sistêmica de repercussões muitas vezes negativas sobre a saúde e o meio ambiente. Na medida em que crescem as demandas autoproduzidas pela Sociedade de Risco com um forte determinante econômico, elas se tornam elementos de complexidade. Importante parcela dessas necessidades que se incorporam às formas de expressão da sociedade não se desvinculam mais do contexto, passando a integrar "necessidades básicas".

As atividades econômicas que desenvolvem inovação promovem desenvolvimento e também criam riscos diversos, localizam-se em outro quadrante sistêmico, na medida em que essa perspectiva tecnológica é parte integrante de sua operação, sendo o risco um termo representativo de oportunidade e não de restrição que enseja posturas de antecipação. O risco, nessa dimensão, significa um elemento sobre o qual se deve aplicar formas de gestão capazes de indicar quais riscos correr e quais evitar, visando à obtenção de máximo aproveitamento de tais situações. Assumir riscos, então, tem um significado bastante distinto daquele relacionado ao meio ambiente e à saúde. Assumir riscos é parte de uma forma exitosa de administrar e obter lucro, elemento básico do sistema da Economia. (DAMODARAN, 2009).



A perspectiva do risco associada à tecnologia e à promoção pela Economia fica bastante evidente no advento das nanotecnologias, as quais são potenciais fontes de riscos e estão presentes em inúmeros produtos de consumo em virtude do alto potencial mercadológico que representa.

Em 1959, o físico americano Richard Feynman proferiu uma palestra para a Sociedade Americana de Física intitulada "Existe muito mais espaço lá embaixo." Nela se fez uma antecipação do futuro, pois expôs a possibilidade de inserir o conteúdo de vinte e quatro volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete. O estudo era baseado na possibilidade de organizar os átomos da maneira conveniente. Certamente algo totalmente impossível na sua época.

Essa visão de futuro deu início a uma sucessão de descobertas científicas que possibilitam hoje chegar a miniaturizações fantásticas de componentes eletrônicos que permitem à humanidade utilizar-se de maravilhas nunca imaginadas no passado, sobretudo devido à escala dessa tecnologia. Comparativamente, uma célula humana tem algo em torno de 20 micrômetros de diâmetro. Um micrômetro equivale a um milionésimo de metro. Assim, trata-se de uma escala de medida muito pequena e muito difícil de imaginar. Por isso mesmo, apresenta grande dificuldade de ser controlada para efeitos ambientais e para a saúde de forma geral (FEYNMAN, 2006).

Tecnologias tão avançadas e potencialmente de difícil controle na natureza e no corpo humano geram insegurança e temor. Cada vez mais a sociedade globalizada se sujeita a acidentes tecnológicos. Vive-se numa "teia de riscos tecnológicos globalizados", na qual os diversos centros de decisão não assumem tais riscos. Cientistas alegam que apenas geram essas tecnologias, empresários apenas respondem às necessidades da sociedade por meio de produtos e decisores políticos apenas regulam (quando muito) sua utilização. Tem-se, assim, um contexto complexo de "irresponsabilidade organizada." (AREOSA, 2016, p. 168).



A tecnologia de hoje repercutirá inevitavelmente no futuro, onde serão conhecidos os reais resultados, eventualmente negativos. Antecipar as reais consequências no futuro de uma decisão tomada hoje é uma dificuldade praticamente insuperável. É no futuro indeterminado que as expectativas irão ou não se concretizar.

Sendo, então, o risco uma temática presente em todos os aspectos da vida, também de maneira mais específica se pode abordar o risco contido na tecnologia. Em sendo a inovação um processo de constante acréscimo tecnológico patrocinado pelos agentes do sistema da Economia, faz-se necessário compreender melhor esses conceitos sistêmicos por meio dos aportes conceituais sofisticados da Teoria dos Sistemas Autopoiéticos de Niklas Luhmann, sobretudo em virtude da evidente dificuldade do sistema do Direito em prover a sociedade de normas capazes de exercer efetivo controle sobre esse processo. Na verdade, o sistema do Direito é fundamental nesse contexto de riscos tecnológicos porque está inserido num amplo processo decisório, representativo da essência conceitual de risco.

3 A TEORIA DOS SISTEMAS AUTOPOIÉTICOS DE NIKLAS LUHMANN

Para melhor compreender as sociedades complexas caracterizadas pela inovação tecnológica, faz-se fundamental recorrer à sofisticada Teoria dos Sistemas Autopoiéticos de Niklas Luhmann. Na obra *Die Gesellschaft der Gessellschaft*, Luhmann expõe um pensamento representativo de uma das mais importantes obras da sociologia do século XX. Nessa obra, Luhmann propõe que tudo está incluído dentro da sociedade e nada se produz fora da sociedade, a qual é altamente complexa em virtude da possibilidade de ocorrer qualquer coisa. Tudo que pode acontecer acontece dentro da sociedade onde surgem os sistemas para enfrentar essa complexidade (ROCHA, 2008).



O desenvolvimento da *Teoria Geral dos Sistemas* recebeu, de Ludwig Von Bertalanffy, um importante aporte por meio da noção de totalidade, além dos conceitos de sistema, rede, não-linearidade, estabilidade, entropia e auto-organização (ROCHA, 2005). Importante destacar que se desenvolveram três outros aportes teóricos relevantes, quais sejam a *Teoria da Informação*, de Shannon e Weaver (1949); a *Cibernética*, de Wiener e Foerster, em 1948 (ROCHA, 2005); e a *Teoria dos Jogos*, de Von Neumann e Morgenstern, em 1947 (BERTALANFFY, 1975).

Para observar fenômenos complexos, faz-se necessário observar a sociedade de maneira mais sofisticada e profunda. A *teoria autopoietica* desenvolvida por Niklas Luhmann, a partir dos estudos dos biólogos Humberto Maturana e Francisco Varela, é uma resposta teórica adequada. As múltiplas possibilidades dentro da sociedade acabaram por produzir os sistemas sociais funcionalmente diferenciados, como o Direito, a Economia e a Política, os quais têm autonomia operativa.

Essa diferenciação dos sistemas é construída de forma contínua, o que implica na diferenciação dos demais sistemas. Assim, na concepção de Luhmann, um sistema capaz de se autoproduzir de forma independente é um sistema autopoietico (LUHMANN, 1998). O sistema, que parte de um espaço próprio de sentido, se autorreproduz a partir de um código próprio, que, no caso do Direito, consiste no código Direito/não-Direito (ROCHA, 2008).

Na teoria de Luhmann, tratar de sociedade é tratar de sistemas. A ordem social é, assim, algo a ser questionado. A gênese da ordem social e sua manutenção é designada por dois conceitos fundamentais, quais sejam, dupla contingência e complexidade (AZEVEDO, 2006). Assim, complexidade consiste no conjunto de todos os eventos possíveis, um mundo de possibilidades que não é um mundo real até que uma dessas possibilidades se torne uma concretude no mundo real. Reduzindo-se a complexidade inicia-se a existência da sociedade. É nessa redução da complexidade que Luhmann identifica a gênese dos sistemas sociais.



Por contingência, tem-se tudo "aquilo que não é nem necessário nem impossível, senão meramente possível" (AMADO, 2004, p. 302).

A autopoiese em Luhmann tem forte influência de Talcot Parsons e parte do pressuposto de que diversos sistemas podem ser comparados em uma teoria da sociedade, voltados para determinada função. A relação entre Direito e sociedade é caracterizada pela oposição entre sistemas abertos e sistemas fechados, e a comunicação é o ponto central, sendo que não se pode prescindir nem de operações comunicativas nem de estruturas. O sistema se produz a si mesmo, operando assim de forma recursiva em seu fechamento operativo (ROCHA, 2010).

A formulação da Teoria Sistêmica de Luhmann tem na autopoiese o elemento que a diferencia de outras teorias sistêmicas que a antecederam. Luhmann explica que, na concepção de Maturana e Varela, a autopoiese significa "que um sistema só pode produzir operações na rede de suas próprias operações, sendo que a rede na qual essas operações se realizam é produzida por essas mesmas operações" (LUHMANN, 2010, p. 119-120). A concepção autopoietica não pode ser objeto de uma aplicação simplificada na observação da sociedade complexa. Ou seja, observa-se a sociedade como autopoiese (ROCHA, 2008).

Dessa forma, "a autopoiese luhmaniana não é um simples empréstimo junto à biologia ou à cibernética. Ela é derivada, antes, de uma expansão cognitiva do todo da problemática da reflexividade" (CLAM, 2006, p. 146). A produção na autopoiese é o produzir-se a si mesmo (LUHMANN, 2010).

Pode-se dizer, então, que a noção de autopoiese consiste no fato de que um sistema somente pode determinar-se por meio de suas próprias estruturas. É possível afirmar que um sistema autopoietico

(a) é um sistema porque seus componentes manifestam-se de modo processual; (b) é um sistema fechado porque existe uma circularidade necessária e suficiente de seus componentes, para que toda e qualquer operacionalização com vistas à ma-



nutenção do próprio sistema se realize; além disso que, (c) seu limite, (sua fronteira), ou ainda, as suas 'bordas' diferenciam-se do meio ambiente (entorno) em que está acoplado, 'anichado'; e que, (d) é um sistema autopoietico porque produz e reproduz a si próprio de forma semântica, ou seja, mesmo sendo um sistema operacionalmente fechado, responde às transformações do meio ambiente em que está acoplado, a partir de seus próprios componentes operacionais, com vistas a sua permanência como sistema. (RODRIGUES, 2006, p. 60-61).

Leonel Severo Rocha (ROCHA, 2010) explica que a autopoiese redefine a perspectiva da produção de sentido advinda da linguagem para a comunicação e autorreprodução autônoma do ambiente sempre a partir da ideia de sistema. A reflexão se centra na ideia de organização (MATURANA; VARELA, 1999) e estrutura. Organização consiste nas relações que devem ocorrer entre componentes de alguma coisa para que seja possível reconhecer esses componentes como parte de uma mesma classe. Estrutura se entende como as relações e componentes que constituem uma unidade. Existe, assim, uma íntima relação entre organização e estrutura.

O surgimento dos sistemas sociais pressupõe a sua diferença em relação à sociedade. Essa diferenciação funcional é construída constantemente numa dinâmica autoprodutiva de cada sistema social, que se dá a partir de seus próprios elementos, reforçando esse processo constante de diferenciação. Luhmann formula que essa autoprodução do sistema de forma independente, ou operacionalmente fechado, produz então um sistema autopoietico. Sistemas, na concepção de Luhmann, são aqueles que podem se autoproduzirem a partir de um código e de uma programação próprias (ROCHA, 2008).

A comunicação é o elemento principal dos sistemas sociais. A chave da questão do acoplamento é a comunicação. Um acoplamento entre a biologia (ecologia) e o sistema do Direito, por exemplo, é totalmente improvável. (ROCHA, 2008). Em termos comunicativos, um sistema não



precisa necessariamente responder a todos os estímulos que provém do ambiente. Assim, "um sistema autopoiético produz as operações necessárias para produzir mais operações, servindo-se da rede de suas próprias operações" (LUHMANN, 2010, p. 120).

A relação entre os sistemas só pode existir de maneira complexa. Não há uma comunicação transparente, posto que não é possível uma manifestação jurídica no sistema da Economia. O aspecto mais importante é justamente o fato de que "o Direito não fala a mesma língua que fala a política e vive-versa. É preciso uma tradução" (ROCHA, p. 191, 2006).

Numa perspectiva autopoiética, tem-se, em vez de uma tradução, um acoplamento estrutural, o qual é preciso para ocorrer uma abertura nessa dimensão de fechamento operacional próprio dos sistemas sociais, fazendo com que o sistema seja determinado à auto-organização (LUHMANN, 1998). Assim, a comunicação é ponto central na noção de autopoiese e também fundamental na regulação dos aspectos do risco das tecnologias.

Não há comunicação direta entre os sistemas. É necessário construir um acoplamento estrutural (LUHMANN, 1998), ou tradução, como defende Leonel Severo Rocha, capaz de otimizar a comunicação entre os sistemas a fim de pretender algum tipo de repercussão com as decisões atuais e que repercutirão de forma definitiva no futuro (LUHMANN, 1997). A perspectiva autopoiética de observação mais sofisticada da sociedade permite construir caminhos adequados para a realidade complexa, na medida em que essa observação se dá de maneira suficientemente aprofundada.

O ponto fundamental é a questão da comunicação, que tem especial importância para o desenvolvimento da teoria de Luhmann. Verbalização, gestos, criação de padrões linguísticos e depois expressões em pinturas e representações de escrita deram à fala (LUHMANN, 1998) a possibilidade de continuidade e de preservação da cultura para as



gerações seguintes, desde sua gênese de antepassados comuns. (DAWKINS, 2009).

Atualmente, a comunicação representa uma nova dimensão para a sociedade, uma nova necessidade, sobretudo devido ao incremento tecnológico, base, inclusive, da própria comunicação. Para Luhmann, "a comunicação tem todas as propriedades necessárias para se constituir no princípio da autopoiesis dos sistemas sociais: ela é uma operação genuinamente social (e a única, enquanto tal)" (LUHMANN, 2010, p. 293).

O atual estágio de desenvolvimento da sociedade que depositava segurança na evolução tecnológica, paradoxalmente se vê cada vez mais imersa na insegurança, em uma realidade complexa e contingente, caracterizadoras de uma ambivalência da modernidade de riscos, conforme Ulrich Beck (BECK, 2008, p. 21). A realidade como hoje vivida certamente não existiria sem o desenvolvimento de mecanismos sofisticados de comunicação globalizada (ARNAUD, 1999, p. 11-12).

Uma abordagem sofisticada do fenômeno das sociedades complexas e da importância do Direito é possível por meio da perspectiva sistêmica e autopoietica formulada por Niklas Luhmann, onde *"el análisis social se ocupa únicamente de la comunicación. Comunicación y no otra cosa es la operación con la que la sociedad como sistema social se produce y reproduce autopoieticamente"* (LUHMANN, 1992, p. 40).

Trata-se de uma teoria que vai além de Pierce e Saussure, buscando uma teoria da comunicação capaz de permitir que a Teoria do Direito acesse novos problemas (ROCHA, 2010), entre eles a complexidade que envolve a temática tecnológica, para a qual a dogmática tradicional não tem os meios suficientes para abordar satisfatoriamente. Para Luhmann, "a sociedade é comunicação" (SCHWARTZ, 2005, p. 71), e somente a sociedade pode comunicar, inclusive a comunicação de consciência à consciência, que somente pode ocorrer se mediada socialmente (LUHMANN, 2008).

Niklas Luhmann desenvolve a questão da improbabilidade da comunicação intersistêmica em sua obra *A improbabilidade da comuni-*



cação. (LUHMANN, 2001). Nessa perspectiva, a teoria da comunicação se baseia na improbabilidade, revelando dificuldades a serem superadas para produzir-se comunicação que é improvável em virtude do isolamento da consciência. Assim, o isolamento da consciência restringe um entendimento contextual, uma vez que o sentido pode ser entendido apenas numa perspectiva de contexto, o qual é definido individualmente pela memória de cada um. A segunda improbabilidade se refere ao problema da extensão temporal e espacial, a qual reforça a improbabilidade da comunicação. A terceira improbabilidade se refere à aceitação do que foi comunicado, posto que o que se comunicou pode não ter sido aceito e, portanto, não atingiu o resultado almejado. (LUHMANN, 2001).

Conforme já referido, cada sistema social emite uma informação com sua codificação própria. O Direito atua conforme um código binário de direito/não-direito e a Economia baseia-se no código lucro/não-lucro. Tal racionalidade específica é comunicada de um sistema para outro sistema que, por sua vez, não o reconhece, demonstrando ser impraticável uma comunicação direta entre os sistemas que são operativamente fechados (LOPES JÚNIOR, 2004).

A improbabilidade da comunicação intersistêmica é um aspecto teórico especialmente importante na análise da tutela pelo Direito dos elementos cada vez mais avançados oferecidos pela tecnologia, em especial a nanotecnologia. A comunicação entre os sistemas do Direito e da Economia precisariam produzir efeitos capazes de promover a adequada gestão dos riscos futuros sem necessariamente impedir o desenvolvimento, tal como pode ocorrer com normas proibitivas em geral.

Existem dificuldades comunicativas entre os sistemas sociais do Direito e da Economia no contexto das sociedades complexas pela tecnologia. Comunicar uma informação relevante e que poderia representar a segurança na continuidade da utilização de elementos tecnológicos potencialmente de risco não se dá de maneira automática e livre de ruídos sistêmicos incompreensíveis. Verifica-se, então, um evidente prejuízo na atuação do sistema do Direito, pois este, operando com ins-



trumentos e racionalidade muitas vezes superados que buscam a aplicação de comandos sem considerar a complexidade do entorno, não é outra coisa a não ser um ruído compreendido pela racionalidade econômica como custo ou restrição de uma determinada atividade econômica baseada em elemento tecnológico. Produtos que contenham elementos de nanotecnologia são o exemplo mais palpável dessa dificuldade sistêmica.

Uma observação acerca das dificuldades comunicativas identifica impossibilidades concretas de êxito, podendo se concentrar ações justamente direcionadas para a superação dessas dificuldades. Luhmann defende que,

sem comunicação não podem formar-se sistemas sociais. Por conseguinte, as improbabilidades do processo de comunicação e forma em que as mesmas se superam e se transformam em probabilidades regulam a formação dos sistemas sociais. Assim, deve entender-se o processo de evolução sociocultural como a transformação e ampliação das possibilidades de estabelecer uma comunicação com probabilidades de êxito, graças a qual a sociedade cria as suas estruturas sociais; e é evidente que não se trata de um mero processo de crescimento, mas de um processo selectivo que determina que tipos de sistemas sociais são viáveis e o que terá de excluir-se devido à sua improbabilidade. (LUHMANN, 2001, p. 43-44).

Improbabilidades comunicativas reforçam-se mutuamente, não havendo possibilidades de converter as mesmas em probabilidades, tanto que "quando uma comunicação foi corretamente entendida dispõe-se de maior número de motivos para rejeitar" (LUHMANN, 2001, p. 44). Possivelmente a construção das estruturas das sociedades complexas dificultem reciprocamente o alcance de soluções de problemas que constantemente originem novos problemas decorrentes dos anteriores. A comunicação é essencial para a teoria de Luhmann, sendo



os sistemas constituídos por operações que se tornam possíveis pelos sistemas, sendo estas operações acontecimentos comunicacionais (GUIBENTIF, 2004).

Para Luhmann, a improbabilidade comunicativa recebe ênfase nos mecanismos que possam passar essa comunicação de improvável para provável, os quais designa por meios que são atribuídos unicamente aos meios de comunicação de massas, onde o sujeito não está presente. Parsons cria o conceito de meios de intercâmbio, passando então a ser utilizado na sociologia. Luhmann expõe o problema da comunicação na sociedade e a necessidade de êxito nesse processo, sendo que, para tanto, concebe um tipo de comunicação específica, qual seja, os "meios de comunicação simbolicamente generalizados", que surgem com a ultrapassagem dos limites de interação entre os interlocutores presentes, plano de comunicação insuficiente. Com esse panorama é possível compreender que, apesar da improbabilidade dessa comunicação, ela se torna possível nos sistemas sociais. (LUHMANN, 2001, p. 46-49).

Ao avaliar as possibilidades da comunicação, Luhmann refere que não há possibilidades de se criar um meio de comunicação simbolicamente generalizado que possa ser aplicado em todas as atividades destinadas a algum tipo de modificação dos seres humanos. Existem dificuldades importantes nesse processo de comunicação e sobre o que exatamente se quer comunicar. (LUHMANN, 2001, p. 56-58).

A complexidade aumenta na medida que se avança na teoria para constatar que há especial importância na chamada "comunicação ecológica" descrita por Luhmann. Considerando a perspectiva de riscos ambientais e para a saúde associáveis a determinadas tecnologias e sua ampla propagação por meio das estruturas do sistema social da Economia, tem-se em destaque a busca por uma compreensão mais adaptada ao atual contexto. Nanotecnologia, risco e precaução/prevenção são elementos que se complementam dentro de uma análise mais ampla da sociedade.



Luhmann alcança esse patamar em sua obra que trata da Comunicação Ecológica. Complexidade é tema recorrente na obra de Luhmann. Basicamente, a complexidade de um sistema é sempre menor que a complexidade do meio ambiente. Assim é necessária a redução da complexidade ambiental com a restrição do meio ambiente em si, bem como a redução dessa complexidade pela própria diferença entre meio e sistema como pré-requisito para a redução da complexidade que pode ser efetuada somente dentro do sistema (LUHMANN, 1992).

Necessário compreender também o conceito de ressonância, que é a relação entre o sistema e o meio. A noção de ressonância é de especial importância para a Teoria dos Sistemas e para a observação dos problemas ecológicos das sociedades complexas. É possível abordar os riscos por meio da observação das condições nas quais as mudanças no meio ambiente social encontram a devida ressonância na sociedade. Luhmann reconhece as dificuldades de resolver os problemas ecológicos apenas com advertências ou mesmo apelos à consciência ambiental. O encaminhamento positivo de questões complexas precisa repercutir para além da mera abordagem literal ou linear. A ressonância na sociedade é a fonte produtora de estímulos capazes de produzir decisões sob novas perspectivas (LUHMANN, 1992, p. 81).

É preciso avançar na comunicação ecológica para induzir um processo autopoietico onde elementos econômicos possam operar de forma a proteger os recursos que por sua vez retroalimentam os próprios elementos do sistema da Economia. É justamente na operação, no processo comunicativo da Economia, que se encontram as dificuldades para uma postura de conservação, em tese, de precaução ou prevenção.

As condições ambientais e a possibilidade de danos não são consideradas pela racionalidade econômica levando em consideração apenas a noção de consciência. Porém, quando tais situações, que sob o ponto de vista ambiental são importantes, repercutem diretamente nos resultados das atividades econômicas, elas podem ser assim con-



sideradas importantes dentro da operação sistêmica da Economia. Há sempre uma motivação que sistemicamente faça sentido.

Em sua análise econômica dos problemas ecológicos, Luhmann defende uma reincorporação dos custos externalizados à análise econômica, bem como um reconhecimento das consequências ambientais das atividades econômicas no processo de decisão para que os objetivos desse sistema sejam estendidos aos efeitos colaterais das atividades. (WEYERMÜLLER, 2014).

A transformação dos problemas ambientais em custos é indicativa de uma continuidade dos problemas, posto que o sistema da Economia decide conforme a racionalidade de se fazer ou não o pagamento, de aceitar ou não os custos extras de uma ação essencialmente protetiva. Existe assim uma dificuldade em avaliar a exposição aos riscos ecológicos muito em virtude de uma ressonância altamente seletiva (LUHMANN, 1992).

4 PRECAUÇÃO OU PREVENÇÃO À NANOTECNOLOGIA?

As sociedades complexas desenvolvem elementos tecnológicos como parte de sua própria evolução. Mesmo com ambiguidades, riscos e perigos, a constante inovação que caracteriza a sociedade global na atualidade já faz parte inseparável da sua dinâmica. A atividade humana transformadora e inovadora é produtora de riscos por meio de suas decisões. A opção pelo incremento contínuo de elementos tecnológicos fica implícito e significa o resultado de um processo de produção de decisões. Evidentemente que diversos fatores distintos da tecnologia também são fontes de riscos e decorrem das decisões, como aumento da população e as mudanças climáticas. Tem-se, assim, uma realidade de alta complexidade.

Não obstante todo o conjunto de criações humanas seja essencial para o atual estágio de desenvolvimento, algumas tecnologias mudaram profundamente a realidade, tomando por base apenas à partir do



século XX. De todo o arcabouço tecnológico existente, pode-se destacar três com maior expressão e alcance: tecnologia atômica, genética e nanotecnologia.

Na esteira das descobertas de Marie Curie e seu marido, um paulatino processo de desenvolvimento de técnicas baseadas em descobertas científicas levou a um estado da técnica que hoje pode significar a cura de doenças, o fornecimento de energia ou a aniquilação. Ocorreu um grande salto a partir da descoberta do nêutron em 1932, e, em apenas uma década, o primeiro reator nuclear, em 1942. Esses foram feitos marcantes na busca do desconhecido e no domínio do microcosmo da natureza (CAULLIRAUX, 2005).

É possível afirmar que se trata da tecnologia recente mais ambígua em virtude de sua ampla aplicação. Essa tecnologia possibilitou o desenvolvimento da energia nuclear como fonte de produção de eletricidade, bem como de tratamentos médicos fundamentais. Mostrou-se à humanidade de maneira ruidosa com a descoberta do rádio, mas causou grande choque e impotência nos bombardeios de Hiroshima e Nagasaki, assim como acendeu um alerta permanente em virtude de Chernobyl e Fukushima. Nessa perspectiva, os riscos tornaram-se evidentes e consideráveis, principalmente com a clara potencialidade de danos irreversíveis (ENGELMANN; WEYERMÜLLER; FLORES, 2010).

O século XX foi promissor em avanços tecnológicos. Nem se aborda aqui a evolução das comunicações e informática, que hoje são a mais evidente face de incremento da complexidade. Ficando ainda na perspectiva proposta, desenvolveu-se no mesmo período dos riscos da tecnologia nuclear, avanços significativos na biológica pela engenharia genética. Em 1944, Oswald Avery comprovou que o DNA é a substância que constitui o gene. Em 1973, Cohen e Boyer fizeram o primeiro experimento de DNA recombinante, transferindo um gene de sapo para uma bactéria. Ficou então muito claro que seria possível isolar genes de qualquer espécie e transferir tal gene para o genoma de outra. Assim, surgiram os organismos geneticamente modificados e transgênicos



que revolucionaram a agricultura e, ao mesmo tempo, são representativos de riscos futuros, pois não são totalmente conhecidos os efeitos sobre a saúde após décadas de consumo de alimentos transgênicos.

Essa tecnologia tem estreita relação com a operação do sistema social da Economia, pois foi desenvolvida visando à criação de cultivares transgênicos capazes de fazer frente a diversas necessidades de adaptação de culturas agrícolas a condições adversas, garantindo assim a estabilidade esperada para a agricultura em escala industrial. Diversas são as controvérsias que envolvem a transgenia. Se de um lado é representativa de melhor desempenho agrícola, por outro gera dúvidas quanto à segurança de sua utilização em larga escala. Interesses econômicos sobrepõem os riscos e o cálculo entre as vantagens e desvantagens de sua utilização indicam evidente prevalência da Economia.

No caso dos transgênicos, observa-se uma peculiar fusão de norma na forma de regra e na forma de princípio, pois a regra que trata objetivamente dos organismos geneticamente modificados no Brasil, lei n. 11.105/05, contém expressa menção ao princípio da precaução, o que deve ser observado quando da aplicação da regra.

O desenvolvimento da tecnologia nuclear e da engenharia genética convergem no sentido de causarem riscos e serem produtos de uma sociedade complexa, em crescimento e exposta a riscos múltiplos. Existem elementos normativos bem específicos para a tutela dessas duas formas tecnológicas e suas diversas aplicações, desde a Constituição Federal até a lei dos OGMs, passando por diversas normas atinentes a licenciamento ambiental dessas atividades e de restrições na manipulação de elementos nucleares. Isso não ocorre da mesma maneira em relação às nanotecnologias, em face à ausência de regra jurídica específica.

Como tecnologia mais recente e impactante do ponto de vista ambiental e, assim, numa perspectiva de necessárias medidas antecipadoras preventivas, surgem as nanotecnologias. Eric Drexler tornou o termo "nanotecnologia" popular nos anos 80 ao se referir à construção



de máquinas tão pequenas que teriam escala molecular com poucos nanômetros de tamanho (DREXLER, 2008, p. 22).

A utilização de nanotecnologias em diversas áreas é uma realidade e enseja o debate sobre as possíveis repercussões negativas apesar de suas evidentes vantagens sobre outros elementos disponíveis para consumo. O direito de ter garantido um meio ambiente preservado e equilibrado tanto para a presente como para as futuras gerações é objeto de convenções internacionais, bem como em ordenamentos jurídicos nacionais, como um direito humano e fundamental a ser reconhecido e protegido de situações de risco e perigo. Os riscos tecnológicos têm relação próxima com o tema dos impactos ambientais, pois a saúde e o meio ambiente natural são afetados em caso de concretização dos riscos que envolvem a utilização e descarte de elementos tecnológicos ainda não completamente avaliados quanto aos seus impactos (SARLET, 2001).

Percebe-se que, apesar dos riscos, essa nova forma tecnológica tem benefícios muitos amplos e abre as portas para um novo patamar de evolução tecnológica. Segundo Lampton (1994, p. 62), "uma nanomáquina de combater às doenças, com objetos múltiplos, poderia assumir a forma de uma miniatura de um submarino que navegaria pela corrente sanguínea". Nesse submarino estaria um poderoso computador que poderia ser destinado a tratamentos revolucionários. A visão do autor já está muito evoluída na atualidade e significa uma perspectiva futura de proporções ainda não bem dimensionadas.

O futuro já chegou. As atuais pesquisas alcançaram o desenvolvimento de nanorreatores que reforçam o metabolismo, fazendo com que as células lutem contra o câncer; nanopropulsores que operam no interior de células vivas para localizar células cancerosas, carregando e liberando medicamentos em pontos específicos; biochips que detectam células cancerosas entre um bilhão de células saudáveis, identificam grupos sanguíneos por meio de sequenciamento genético e, assim, diminuem o risco de reações adversas em transfusões de sangue. Já exist-



tem, também, máquinas de costura microscópica capazes de costurar longas cadeias de DNA sem quebrá-las, que poderão ser utilizadas em sequenciamento genético, bem como na eletrônica molecular; materiais magnéticos com nanocristais, nanotubos de carbono e nanoengenharia para purificação de água são mais algumas das diversas aplicações. Essas são apenas uma pequena amostra das possibilidades múltiplas da nanotecnologia que repercute também amplamente no consumo de centenas de produtos, com destaque a roupas, cosméticos e embalagens (BERWIG; ENGELMANN, 2017).

Entretanto, os aspectos negativos são também muito abrangentes, principalmente a "nanopoluição" que é gerada por nanomateriais. Este tipo de poluição é de difícil controle em virtude do tamanho muito reduzido das nanopartículas que flutuam facilmente pelo ar e pelos organismos vivos, uma vez que os nanopoluentes podem entrar nas células de seres vivos. É preciso lembrar que a maioria destes poluentes minúsculos não existe na natureza, o que implica no risco de as células não terem os meios naturais apropriados para lidar com eles, podendo causar danos ainda não conhecidos, similares aos efeitos cumulativos dos metais pesados (ENGELMANN; MARTINS, 2017).

O elemento econômico é inseparável do tema das tecnologias, com especial destaque às três importantes formas de risco destacadas. Sob a perspectiva sistêmica descrita alhures, essas tecnologias fazem parte de um imenso conjunto de necessidades, de objetos, de elementos desenvolvidos, produzidos e comercializados. É a própria essência da operação do sistema social da Economia. A operação do sistema, que na sua forma mais básica se resume no código binário lucro/não lucro, está estruturada sobre uma dinâmica social que busca constantemente o novo, o mais avançado, o mais eficiente. O risco que acompanha essas decisões econômicas de mercado não abrange a integralidade das possibilidades de danos. Dessa forma, fica evidente a complexidade inerente a essa relação entre tecnologia, economia, meio ambiente e risco. Resta ao sistema do Direito o papel de instrumentalizar os meios



de identificar os riscos e promover a antecipação aos danos. O licenciamento ambiental é exemplo prático dessa operação. Observa-se porém, que isso se dá por meio da norma jurídica, mais especificamente pelas regras, sendo que os princípios também são elementos normativos essenciais.

Precaução aos danos significa uma antecipação aos danos. Uma postura antecipadora aos riscos e perigos por políticas estatais, como leis e mecanismos de controle, bem como supranacionais são fundamentais visando a comunicar ações essencialmente preventivas aos danos, e pode se dar através da aplicação do Princípio da Precaução, o qual tem estreita relação com a necessidade de comunicação ambientalmente relevante entre os sistemas sociais do Direito e da Economia. Assim, precaução está associada à proteção do meio ambiente e faz parte do arcabouço do Direito Ambiental. O Princípio da Precaução corresponde à essência do Direito Ambiental:

precaução é cuidado (*in dúbio pro securitate*). O princípio da precaução aos conceitos de afastamento de perigo e segurança das gerações futuras, como também de sustentabilidade ambiental das atividades humanas. Este princípio é a tradução da busca da proteção da existência humana, seja pela proteção de seu ambiente como pelo asseguramento da integridade da vida humana. A partir dessa premissa, deve-se também considerar não só o risco iminente de uma determinada atividade como também os riscos futuros decorrentes de empreendimentos humanos. (DERANI, 1997, p. 167).

Trata-se do *Vorsorgeprinzip* alemão, que passou a nortear as políticas ambientais alemãs. Foi aplicado posteriormente na Conferência Internacional sobre a Proteção do Mar do Norte e na Convenção de Viena na década de 80, surgindo como princípio autônomo em 1987, na segunda edição da Conferência Internacional sobre a Proteção do Mar do Norte. No âmbito da Comunidade Europeia, passou a integrar o rol de



princípios comunitários através do Tratado de Maastricht (RIECHMANN, 2002). Na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, o Princípio da Precaução surge no rol de princípios. Materializou-se no Princípio n. 15, o qual estabelece que:

De modo a proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaças de sérios danos ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. (SILVA, 1995, p. 54).

Merece destaque o conteúdo no qual se vê a necessidade de tomar decisões favoráveis ao meio ambiente frente ao risco e à incerteza científica, uma vez que, "não é preciso que se tenha prova científica absoluta de que ocorrerá dano ambiental, bastando o risco de que o dano seja irreversível ou grave, para que não se deixe para depois as medidas efetivas de proteção ao meio ambiente." (MACHADO, 1994, p. 37).

O Princípio da Precaução consta também do Tratado da Comunidade Europeia, estendendo-se sua aplicação às diversas políticas do bloco atinentes ao meio ambiente, com especial ênfase ao direito à saúde bem como ao meio ambiente como um todo, visando a um controle mais efetivo do risco.

No Direito brasileiro tem-se expressamente o Princípio da Precaução na regulamentação dos incisos II, IV e V do parágrafo 1º. do artigo 225 da Constituição Federal. Essa regulamentação deu-se através da Lei n. 11.105 de 2005, a qual estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização das atividades que explorem organismos geneticamente modificados, que, como visto, representam riscos e benefícios (GUERRANTE, 2003).



Cabe destacar outro princípio fundamental que na verdade é uma variante, não apenas conceitual, de precaução. Trata-se do "Princípio da Prevenção", que está intimamente ligado à necessidade de antecipação aos danos e a antecipação aos riscos e perigos. Assim, em termos conceituais,

prevenção é substantivo do verbo prevenir, e significa ato ou efeito de antecipar-se, chegar antes; induz uma conotação de generalidade, simples antecipação do tempo, é verdade, mas com intuito conhecido. Precaução é substantivo do verbo precaver-se (do Latin prae = antes e cavere = tomar cuidado), e sugere cuidados antecipados, cautela para que uma atitude ou ação não venha a resultar em efeitos indesejáveis. A diferença etimológica e semântica (estabelecida pelo uso) sugere que prevenção é mais ampla que precaução e que, por seu turno, precaução é atitude ou medida antecipatória voltada preferencialmente para casos concretos. (MILARÉ, 2001, p. 118).

A principal diferença conceitual entre precaução e prevenção está na incerteza, o que remete ao tema do risco. Assim, o Princípio da Precaução "tem a sua máxima aplicação em caso de dúvida. Ele significa que o ambiente deve ter em seu favor o benefício da dúvida quando haja incerteza, por falta de provas científicas evidentes" (CANOTILHO, 1998, p. 48-49). A precaução aos danos futuros surge da inexistência de certeza científica sobre os riscos de que uma atividade ou tecnologia possa afetar o meio ambiente e a saúde, enquanto que a prevenção vem do conhecimento concreto do risco, ou seja, quando se pode ter certeza sobre o potencial lesivo, implicando na adoção de medidas antecipadoras. Assim, "o princípio da precaução distingue-se, portanto, do da prevenção por exigir uma proteção antecipada do ambiente ainda num momento anterior àquele em que o princípio da prevenção impõe uma atuação preventiva" (CANOTILHO, 1998, p. 50).



Quando possível medir as proporções do dano e a certeza da ocorrência, trata-se de prevenção; quando os resultados negativos forem incertos ou imprevisíveis, tem-se a precaução. Em suma, trata-se de avaliar os riscos como concretos ou abstratos. Riscos concretos são aqueles que a ciência pode delimitar, impondo medidas de prevenção. Riscos abstratos são aqueles onde se verifica incerteza científica, impondo uma postura de precaução (WEYERMÜLLER, 2010, p. 79).

Em frente das diversas variantes do risco associado às tecnologias, a postura antecipadora aos danos possíveis impõem-se como tarefa complexa, sobretudo considerando o fato de serem elementos integrantes do sistema social da Economia que opera justamente dentro de uma lógica sistêmica na qual o mercado determina as ofertas de acordo com demandas que são, em muito, baseadas em aspectos subjetivos de consumo e necessidades criadas.

Como visto, os princípios são normas jurídicas de cunho interpretativo e balizador do sistema do Direito. Precaução e Prevenção são balizadores de destaque no Direito Ambiental porque representam uma forma de justificar a aplicação de regras ambientais que vão desde leis de licenciamento ambiental até penas em virtude de crimes ambientais que geralmente estão associados a danos que não foram evitados (WEYERMÜLLER, 2010).

Além da responsabilidade administrativa do licenciamento e da responsabilidade penal, a reparação dos danos na esfera civil é a forma, a via mais diretamente ligada ao dano que não foi evitado. A constatação de um dano ambiental implica na incidência de norma jurídica (regra) que busca a reparação ou a compensação do dano. Para casos onde é possível estabelecer parâmetros capazes de mitigar, reparar ou compensar danos, a responsabilidade civil tem papel importante numa operação ambientalmente positiva do sistema do Direito.

Porém, para situações em que os resultados de condutas humanas têm consequências futuras imprevisíveis ou para as quais faltam regramentos específicos de tutela, como nas nanotecnologias, tem-



-se uma resultante negativa na dimensão da proteção ambiental. Sociedades complexas como as da contemporaneidade produzem riscos em proporções nunca antes vivenciadas na experiência humana, sendo esses riscos o resultado das decisões tomadas e que repercutem de maneira imprevisível no futuro, tornando a previsibilidade e a segurança desejada algo incerto e vago. Apesar das dimensões que o risco pode ter, bem como as múltiplas formas de interpretar o risco, destaca-se a perspectiva da teoria sistêmica de Luhmann, na medida em que, nela, o risco principal está no processo de decisão (WEYERMÜLLER, 2014).

Uma observação sistêmica da sociedade permite diagnosticar com maior clareza o contexto cada vez mais abrangente dos riscos produzidos a partir da tecnologia. O conhecimento de efeitos possíveis de determinadas atividades humanas enseja, como visto, a aplicação de medidas tipicamente de prevenção, a exemplo do tipo de tutela pelo sistema do Direito que ocorre no licenciamento ambiental, por exemplo, pois se baseia em conhecimentos concretos sobre consequências.

Os riscos tecnológicos, que têm necessariamente uma perspectiva econômica, precisam ser avaliados por meio de um balanceamento de viabilidade e utilidade frente à necessidade de antecipar-se a possíveis danos. Uma realidade social complexa de riscos e perigos revela a importância da relação que existe entre os riscos tecnológicos e os Princípios da Precaução e da Prevenção.

A antecipação aos danos futuros de alimentos transgênicos, as questões climáticas ou em relação à aprovação de determinada vacina, como na atualidade se discute devido à pandemia, pressupõem a existência de um princípio norteador que se materializa em leis, práticas econômicas ou ações de Estado comprometidas com a segurança das decisões, sendo risco o resultado de um processo decisório mal conduzido no presente, pois "o futuro depende das decisões que se tomam no presente e que, uma vez colocadas em prática, são irreversíveis" (LUHMANN, 1992, p. 38).



As decisões sobre o risco de determinadas tecnologias precisam levar em conta a responsabilidade que recai sobre quem as toma, seja o Estado, a iniciativa privada ou outros atores sociais. Escolher entre várias alternativas possíveis é, sob o ponto de vista sistêmico, uma situação genuína de risco. É de suma importância encontrar alternativas e se desenvolver mecanismos jurídicos que permitam mitigar os resultados negativos do desenvolvimento, sobretudo tecnológico.

Como as nanotecnologias não receberam ainda do sistema social do Direito uma regra capaz de oferecer parâmetros mais objetivos para sua utilização, resta por ora a orientação normativa do Princípio da Precaução como forma de comunicação entre os sistemas em questão. O problema de tal diretiva antecipadora aos danos possíveis no futuro é que não são colocados limites objetivos capazes de promover uma efetividade condizente com a complexidade dessa atividade, dessa tecnologia. Além do mais, precaução em sua essência principiológica significa não agir, não utilizar. Isso, sob a lógica da Economia, não repercute como o esperado. Em suma, o sistema do Direito não alcança o nível de expectativas que são depositadas em sua operação sem o complemento essencial de uma regra que possa gerar maior ressonância sobre a Economia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O risco tem diversas formas de ocorrência e diversas linhas conceituais. Sua constante presença na evolução humana é fato incontroverso, mesmo surgindo enquanto conceito em tempos relativamente recentes. Toda ação humana contém algum nível de risco, sobretudo quando são tomadas decisões que afetam toda a sociedade.

No atual contexto de complexidade da sociedade, o elemento risco se reveste de especial importância porque são cada vez mais evidentes as possibilidades de ocorrer graves danos no futuro, sejam eles em relação ao meio ambiente, seja em relação à saúde. Buscar uma anteci-



pação a esses danos por meio do controle efetivo sobre as variantes do risco se tornou um imperativo.

Importante parcela dos riscos atuais está na utilização de elementos de tecnologia que são introduzidos em grande velocidade no rol de necessidades criadas. Esses riscos representam a insegurança e a incerteza que geram desconforto e preocupação com o futuro. A pesquisa demonstrou que, para compreender melhor esse contexto de alta complexidade, faz-se necessário um aporte teórico mais sofisticado que possibilite uma observação mais acurada da realidade. A teoria sistêmica autopoietica de Niklas Luhmann proporciona essa análise da sociedade de maneira muito mais sofisticada.

Como a tecnologia cada vez mais desenvolvida é parte de um processo contínuo de inovação financiado pelo sistema social da Economia, oportuno localizar a problemática no quadrante de uma análise dessa tecnologia como parte integrante da operação sistêmica que necessita de constante aporte tecnológico para continuar com sua operação com resultantes econômicas positivas.

De outro lado, a tentativa de se promover efetiva proteção aos elementos ambientais e de saúde da sociedade é parte da lógica operativa do sistema do Direito com sua normatização. Normas jurídicas, como visto, podem ser tanto regras com sua maior objetividade quanto princípios com sua característica centrada na generalidade e orientação do sistema como um todo.

Diversas são as dificuldades operativas do sistema do Direito para cumprir com essas expectativas protetivas, pois há clara predominância da operação da Economia que se utiliza de elementos tecnológicos como elementos fundamentais de sua operação, o que torna as sociedades hodiernas ainda mais complexas do que já foram. Uma genuína sociedade de risco, como descrita por Beck, parece ser cada vez mais visível, o que torna a formulação sempre mais atual.

A nanotecnologia é uma conquista tecnológica emblemática que pode ser colocada no centro dessa realidade, pois representa uma con-



quista indiscutível na solução de problemas da sociedade em diversas áreas, mas também pode acarretar em pesado ônus para o futuro devido à impossibilidade de se prever e se antecipar a possíveis danos que possam ser verificados no futuro em relação à saúde e ao meio ambiente.

Posturas de antecipação aos danos que eventualmente podem ocorrer quando da utilização de tecnologias tão avançadas carecem de elementos normativos adaptados a essa nova dinâmica social e econômica que assume riscos em medidas desproporcionais ao alcance do controle normativo. Como a operação dos sistemas sociais da Economia e do Direito são diferentes e como a comunicação entre eles é improvável, um diagnóstico bem adequado pode ser feito, o qual indica a necessidade de orientar o necessário controle sobre consequências indesejáveis.

Apenas medidas de precaução não parecem ser adequadas nesse contexto. A evolução do tema precisa ocorrer com a busca de norma jurídica específica para as nanotecnologias, para que se possa complementar a noção antecipadora do Princípio da Precaução.

REFERÊNCIAS

AMADO, Juan Antonio Garcia. A sociedade e o direito na obra de Niklas Luhmann. *In*: ARNAUD, André-Jean; LOPES JÚNIOR, Dalmir (Org.).

Niklas Luhmann: do sistema social à sociologia jurídica. Tradução de Dalmir Lopes Júnior, Daniele Andréa da Silva Manão e Flávio Elias Riche. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2004.

AREOSA, João. A globalização dos riscos sociais e os acidentes tecnológicos. *In*: **Pensamento Americano**, Volume 9, julho-dezembro de 2016, Barranquilla, 2016.



ARNAUD, André-Jean. **O direito entre modernidade e globalização:** lições de filosofia do direito e do Estado. Tradução: Patrice Charles Wuillaume. Rio de Janeiro: Renovar, 1999.

AZEVEDO, Rodrigo Ghiringhelli de. Estado e direito como sistemas autopoieticos: uma abordagem da teoria dos sistemas de Niklas Luhmann. *In*: RODRIGUES, Léo Peixoto; MENDONÇA, Daniel de (Org.). **Ernesto Laclau e Niklas Luhmann:** pós-funcionalismo, abordagem sistêmica e as organizações sociais. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

BECK, Ulrich. **La sociedad del riesgo.** Barcelona: Paidós Ibérica, 1998.

BECK, Ulrich. **La sociedad del riesgo global.** Madrid: Siglo XXI de España, 2002.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral dos sistemas.** Tradução de Francisco M. Guimarães. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1975.

BERWIG, Juliane Altmann; ENGELMANN, Wilson. A nanotecnologia: do fascínio ao risco. *In*: **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias.** Org. Wilson Engelmann e Haide Maria Hupffer. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017.

CANOTILHO, José Joaquim Gomes. **Introdução ao direito do ambiente.** Lisboa: Universidade Aberta, 1998.

CLAM, Jean. **Questões fundamentais de uma teoria da sociedade:** contingência, paradoxo, só-efetuação. Tradução de Nélío Schneider. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2006.

DAMODARAN, Aswath. **Gestão estratégica do risco.** Tradução de Félix Nonnenmacher. Porto Alegre: Bookmann, 2009.

DAWKINS, Richard. **A grande história da evolução:** na trilha dos nossos ancestrais. Tradução de Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.



DE GIORGI, Raffaele. **Direito, democracia e risco** – vínculos com o futuro. Porto Alegre: Sérgio Antônio Fabris, 1998.

DERANI, Cristiane. **Direito ambiental econômico**. São Paulo: Max Limonad, 1997.

ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. Como as possibilidades trazidas pelas nanotecnologias afetam a sociedade e a (des)necessidade de imediata regulação. *In*: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria (Org.). **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017.

ENGELMANN, Wilson; WEYERMÜLLER, André Rafael; FLORES, André Stringhi. **Nanotecnologias, Marcos Regulatórios e Direito Ambiental**. Curitiba: Editora Honoris Causa, 2010.

FEYNMAN, Richard Phillips. **O senhor está brincando, Sr. Feynman!** as estranhas aventuras de um físico excêntrico. Tradução de Alexandre Carlos Tort. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GIDDENS, Anthony. **O mundo na era da globalização**. Lisboa: Presença, 2000.

GUERRANTE, Rafaela Di Sabato. **Transgênicos: uma visão estratégica**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

GUIBENTIF, Pierre. A comunicação jurídica no quotidiano lisboeta. Proposta de abordagem empírica à diferenciação funcional. *In*: ARNAUD, André-Jean; LOPES JÚNIOR, Dalmir (Org.). **Niklas Luhmann: do sistema social à sociologia jurídica**. Traduções de Dalmir Lopes Júnior, Daniele Andréia da Silva Manão e Flávio Elias Riche. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2004.

JONAS, Hans. **El principio de responsabilidad**. Barcelona: Herder, 1995.



LEITE, José Rubens Morato. **Dano ambiental**: do individual ao coletivo extrapatrimonial. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000.

LOPES JÚNIOR, Dalmir. Introdução. *In*: ARNAUD, André-Jean; LOPES JÚNIOR, Dalmir (Org.). **Niklas Luhmann**: do sistema social à sociologia jurídica. Traduções de Lopes Júnior, Daniele Andréia da Silva Manão e Flávio Elias Riche. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2004.

LUHMANN, Niklas. **Die Gesellschaft der Gesellschaft**. Frankfurt am Main: Suhrkamp Taschenbuch Verlag, 1998.

LUHMANN, Niklas. **Sociologia do direito**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1983.

LUHMANN, Niklas. **Observaciones de la modernidad**: Racionalidad y contingencia en la sociedad moderna. Tradução: Carlos Fortea Gil. Barcelona: Paidós, 1997.

LUHMANN, Niklas. **Sociologia del riesgo**. Guadalajara: Universidad Iberoamericana/Universidad de Guadalajara, 1992.

LUHMANN, Niklas. **Introdução à teoria dos sistemas**: aulas publicadas por Javier Torres Nafarrate. Petrópolis: Vozes, 2010.

LUHMANN, Niklas. **Comunicazione ecologica**: può la società moderna adattarsi alle minacce ecologiche? Traduzione e introduzione di Raffaella Sutter. Milano: Franco Angeli, 1992.

LUHMANN, Niklas. **La sociedad de la sociedad**. Ciudad Del México: Herder, 2008.

LUHMANN, Niklas. **A improbabilidade da comunicação**. Tradução: Anabela Carvalho. 3. ed. Lisboa: Veja, 2001.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Estudos de Direito Ambiental**. São Paulo: Malheiros, 1994.



MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco. **El arbor del conocimiento: las bases biológicas del conocimiento humano**. 3. ed. Madrid: Debate, 1999.

MILARÉ, Edis. **Direito do ambiente**. 2. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2001.

RIECHMANN, Jorge. **Cultivos e alimentos transgênicos um guia crítico**. Petrópolis: Vozes, 2002.

ROCHA, Leonel Severo. **Observações sobre autopoiese, normativismo e pluralismo jurídico**. Constituição, Sistemas Sociais e Hermenêutica: Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado. Porto Alegre; São Leopoldo, 2008.

ROCHA, Leonel Severo. **Observações sobre autopoiese, normativismo e pluralismo jurídico**. Constituição, Sistemas Sociais e Hermenêutica: Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado. Porto Alegre; São Leopoldo, 2008.

ROCHA, Leonel Severo; DUTRA, Jéferson Luiz Dellavalle. **Notas introdutórias à concepção sistêmica de contrato**. Constituição, Sistemas Sociais e Hermenêutica: Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado. Porto Alegre; São Leopoldo, 2005.

ROCHA, Leonel Severo; SCHWARTZ, Germano; CLAM, Jean (Org.). **Introdução à teoria do sistema autopoietico do direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2005.

ROCHA, Leonel Severo. **A produção sistêmica do sentido do direito: da semiótica à autopoiese**. Constituição, Sistemas Sociais e Hermenêutica: Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado. Porto Alegre; São Leopoldo, 2010.

ROCHA, Leonel Severo. **Sistema do direito e transdisciplinaridade: de Pontes de Miranda a autopoiese**. Constituição, Sistemas Sociais e



Hermenêutica: Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado. Porto Alegre; São Leopoldo, 2006.

RODRIGUES, Léo Peixoto. **A (des)estruturação das estruturas e a (re) estruturação dos sistemas: uma revisão epistemológica crítica.** *In:* RODRIGUES, Léo Peixoto; MENDONÇA, Daniel de (Org.). **Ernesto Laclau e Niklas Luhmann: pós-funcionalismo, abordagem sistêmica e as organizações sociais.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

SARLET, Ingo Wolfgang. **A eficácia dos direitos fundamentais.** 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2001.

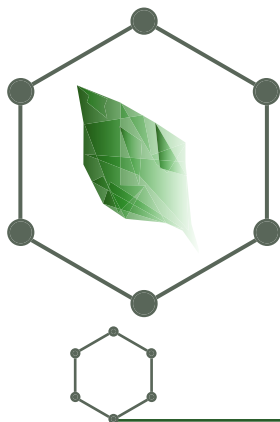
SCHWARTZ, Germano. A fase pré-autopoiética do sistema Luhmanniano. *In:* ROCHA, Leonel Severo; SCHWARTZ, Germano; CLAM, Jean. (Org.). **Introdução à teoria do sistema autopoiético do direito.** Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2005.

SILVA, Geraldo Eulálio do Nascimento e. **Direito ambiental internacional.** Rio de Janeiro: Thex, 1995.

TRINDADE, Antônio Augusto Cançado. **Direitos humanos e meio-ambiente:** paralelo dos sistemas de proteção internacional. Porto Alegre: Sérgio Antônio Fabris, 1993.

WEYERMÜLLER, André Rafael. Água e Adaptação Ambiental: O pagamento pelo seu uso como elemento econômico e jurídico de proteção. Curitiba: Juruá, 2014.

WEYERMÜLLER, André Rafael. **Direito Ambiental e Aquecimento Global.** São Paulo: Atlas, 2010.



NANOTECNOLOGIA: DO DESENVOLVIMENTO DOS NANOMATERIAIS AOS NANORESÍDUOS

**Daiene Dorfey
Vanusca Dalosto Jahno**



1 INTRODUÇÃO

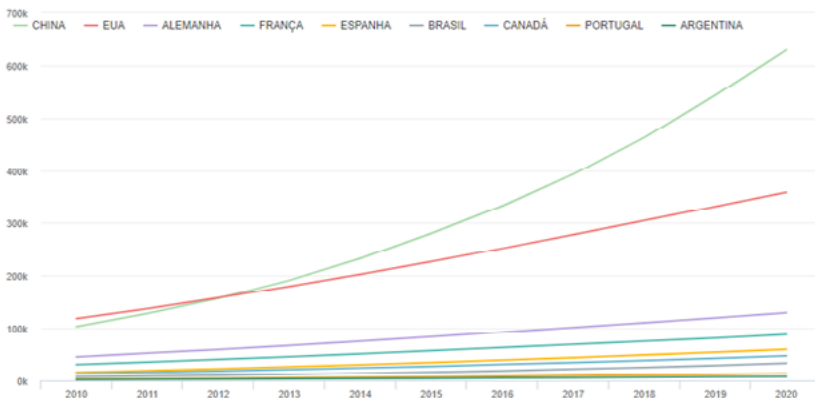
Atualmente, a nanotecnologia vem contribuindo para a produção de diversos produtos utilizados no cotidiano da população. Frente a isso, deve-se verificar se não haverá a geração de nanoresíduos e se esses não impactarão o meio ambiente e a sociedade.

De acordo com a Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dos Estados Unidos (NNI – *The National Nanotechnology Initiative*), nanotecnologia é o entendimento e controle da matéria com dimensões entre aproximadamente 1 e 100 nanômetros, possibilitando novas aplicações (NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE, 2021). A nanotecnologia engloba aplicações na medicina (nanomedicina), sensores (nanosensores), materiais (nanomateriais), entre outros (ADAMS; BARBANTE, 2013; ASTRUC, 2016; BOGUE, 2009; BRATOVIC, 2019).

Pode-se verificar, na Figura 1, a evolução das descobertas científicas publicadas no período de 2010 e 2020 sobre nanotecnologias. É visível o crescimento científico acelerado da China, com mais de 630 mil publicações, e dos Estados Unidos, com quase 360 mil artigos relacionados à nanotecnologia indexados no Web of Science (WoS).



Figura 1. Número de publicações, no formato de artigo, sobre nanotecnologia (2010 – 2020)



Fonte: StatNano, 2021

A Alemanha, em 2020, chegou em um número expressivo de publicações na área de nanotecnologia, com quase 130 mil publicações. Com mais de 87 mil publicações, a França aparece em 4º lugar, e a Espanha, no 5º lugar, com mais de 59 mil publicações. O Brasil, dentre esses países selecionados para a produção desse gráfico, ficou no 7º lugar com mais de 33 mil artigos publicados. Analisando este gráfico, é possível refletir sobre o aumento pelo interesse em estudar sobre nanotecnologias e, por consequência, a geração de resíduos nanotecnológicos provenientes dos estudos. Não foi possível separar o que provém de conhecimento somente dos pesquisadores das Universidades ou o que foi realizado em conjunto com as indústrias desses países, mas estima-se que ocorra o crescimento da geração de nanoresíduos. Mas qual o risco inerente à saúde da população e ao meio ambiente?

Toda inovação tecnológica vem acompanhada de algum tipo de impacto, seja este econômico, social ou ambiental, sendo necessário fazer reflexões sobre toda a cadeia de produção e pós-consumo destes materiais, visando o menor risco e impacto possível na saúde e no meio ambiente (ORTIGARA, 2009, p. 26).



A partir desse contexto, o presente estudo tem como objetivo refletir sobre a geração dos nanoresíduos em função do desenvolvimento e utilização das nanotecnologias sob a forma de nanomateriais e qual o risco dessa geração.

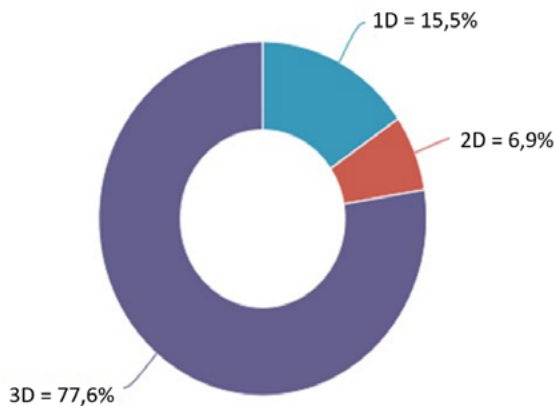
2 NANOTECNOLOGIAS E NANOMATERIAIS

De acordo com a Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2011), um nanomaterial é definido como um material natural, incidental ou fabricado, que contém partículas, em um estado não ligado ou como um agregado ou aglomerado e no qual, para 50% ou mais das partículas na distribuição de tamanho, uma ou mais dimensões externas estão na faixa de tamanho entre 1 – 100 nm.

Portanto, os nanomateriais são materiais na nanoescala e, normalmente, apenas uma ou duas dimensões estão na escala nano. Se apenas uma das dimensões estiver restrita, tem-se um material em forma de camada, também conhecido como material 2D. Se duas dimensões forem limitadas em tamanho, tem-se um fio ou um material 1D. Se todas as dimensões estiverem na escala de poucos nanômetros, tem-se um material 0D (ADAMS; BARBANTE, 2013). É possível visualizar o percentual de artigos científicos publicados dos principais nanomateriais divididos por dimensão na Figura 2.



Figura 2. Percentual de artigos científicos publicados dos principais nanomateriais divididos por dimensão



Fonte: StatNano Nanomaterials, 2021

Em um levantamento de patentes concedidas de nanotecnologia no USPTO, entre 2009 e 2019, pode-se verificar 43 tipos diferentes de nanomateriais. Dentre os mais requisitados foram os nanotubos, grafeno, pontos quânticos, nanofios, nanocompósitos, nanofibras, nanomateriais nanocristalinos, materiais nanoporosos, nanoplacas e nanopartículas (STATNANO USPTO, 2021). Cabe ressaltar que, de acordo com a ISO / TS 18110 (2019), a definição de patentes de nanotecnologia é “patentes que incluem pelo menos uma reivindicação relacionada à nanotecnologia ou patentes classificadas com um código de classificação IPC relacionado à nanotecnologia, como B82”.

Destacando-se apenas as nanopartículas desses tipos de nanomateriais, existem mais de 2500 produtos cadastrados como tal, assim como mais de 50 mil patentes concedidas e mais de 400 mil artigos publicados (STATNANO NANOMATERIALS, 2021). O que comprova uma alta demanda nesse setor.

Embora os nanomateriais não sejam perigosos, eles podem apresentar propriedades que acionariam uma avaliação de risco caso



a caso. Nessa avaliação de risco, as propriedades tóxicas e ecotóxicas das nanopartículas e a probabilidade de exposição de trabalhadores e consumidores devem ser consideradas. No entanto, para nanomateriais em geral, há uma lacuna no conhecimento sobre os cenários de riscos e exposições, o que dificulta a avaliação de risco. No geral, dificuldades técnicas existem, por exemplo, para medir a concentração de nanopartículas em uma análise de risco. Considerando que os dados de limite se baseiam em massa, no caso dos nanomateriais, a área superficial pode ser uma medida mais adequada para expressar os níveis acima dos quais ações devam ser tomadas (SMETS; RÜDELSHEIM, 2018).

É possível destacar que, entre as definições na questão da avaliação dos riscos das nanotecnologias, é importante ter clareza sobre a nanosseguurança. E segundo o Projeto de Lei nº 880, de 2019, a nanosseguurança é:

Conjunto de medidas para garantir a segurança ambiental, ocupacional e sanitária de toda a cadeia de valor e o ciclo de vida dos nanomateriais através de ferramentas que preveem, prescrevem e proscreevem o desenvolvimento de produtos e processos nanotecnológicos (PL, 2021, p. 3).

Já o artigo 1º da Lei de Biossegurança nº 11.105/2005 estabelece:

Normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados – OGM – e seus derivados, tendo como diretrizes o estímulo ao avanço científico na área de biossegurança e biotecnologia, a proteção à vida e à saúde humana, animal e vegetal, e a observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente. (BRASIL, 2005).



O princípio da precaução vem de encontro ao tema de nanotecnologias quando avalia-se os riscos que estas podem causar, estando fundamentada no artigo 225, parágrafo 1º, inciso V, da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, que assim indica: "(...) controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente" (BRASIL, 1988).

Na União Europeia e nos Estados Unidos foram lançadas várias iniciativas para caracterizar os riscos da nanotecnologia, avaliando também como as legislações poderiam ser aplicadas aos nanomateriais, podendo auxiliar, pelo princípio da prevenção, os prováveis riscos, antes da ocorrência de danos. Em 2013, foi criado o Projeto Europeu NANOREG, uma iniciativa da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), da Organização Internacional para Padronização (ISO) e da Agência Europeia dos Produtos Químicos (ECHA), que regulamentou a nanotecnologia, visando a disponibilizar ferramentas para a avaliação dos riscos das nanotecnologias e o desenvolvimento de análises dos impactos ambientais e de saúde pelo uso dos nanomateriais (NANOREG, 2021; ENGELMANN, 2018).

Segundo Oliveira (2015), existem pelo menos três tipos de riscos no uso de nanotecnologias: globais, retardados e irreversíveis. Os riscos globais são consequências do rápido desenvolvimento dessa emergente tecnologia; os retardados devem-se às nanopartículas poderem se deslocar facilmente pela água, ar e solo, impactando diferentes tipos de ecossistemas; e, por fim, os irreversíveis ocorrem por não ser possível uma segurança no uso e descarte de nanoresíduos no meio ambiente.

3 OS NANORESÍDUOS E SEU RISCO

O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos é uma preocupação relevante do ponto de vista do cenário ambiental a nível mundial,



visto que a sua disposição inapropriada acarreta sérios problemas, os quais, em muitos casos, são irreversíveis (DOMINGOS *et al.*, 2015).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, instituída pela Lei 12.305/2010, estabelece, no artigo 3º, inciso XVI, o conceito de resíduo sólido, sendo esse entendido por:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (PNRS, 2010).

Ainda, há diferença entre os conceitos de resíduos e rejeitos trazida pelo art. 3º, inciso XVI da supramencionada lei, sendo rejeitos:

[...] resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (PNRS, 2010).

A geração de resíduos sólidos só tende a aumentar com o desenvolvimento de novos produtos. Só em 2020, somou-se 79,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no Brasil (ABRELPE, 2020). Porém, não é mencionado na PNRS sobre os resíduos gerados pelas nanotecnologias, conhecidos como nanoresíduos ou *nanowaste*. Segundo Filho (2017), os nanoresíduos devem ser enquadrados como resíduos perigosos pela PNRS.

Os nanoresíduos podem ser gerados durante uma produção de nanomateriais, quer seja pelo tipo de processo produtivo ou por estar



na sua composição. Também por subprodutos sintéticos em nanoescala produzidos durante a produção, armazenamento ou distribuição; materiais contaminados com nanomateriais; materiais ou produtos nanotecnológicos em fim de vida e roupa de proteção. Dependendo desta definição, segundo Bilgili (2019), os nanoresíduos podem ocorrer em quatro formas, sendo elas:

1. Nanomateriais puros produzidos durante sua produção.
2. Superfícies ou substâncias contaminadas por nanomateriais (recipientes, roupas de proteção individual, etc.).
3. Suspensões líquidas contendo nanomateriais.
4. Sólidos contendo nanomateriais.

É possível que ocorra a geração de nanoresíduos pelo descarte irregular destes produtos no meio ambiente (BILGILI, 2019). Um exemplo é a transformação dos plásticos pós-consumo que, quando expostos no solo ou, ainda, em ambientes aquáticos, podem sofrer fragmentação, gerando, assim, os nano e microplásticos, impactando de alguma forma a saúde e o meio ambiente. Alguns organismos vivos podem ser afetados com o contato de nanopartículas, dentre eles os peixes, células humanas e ratos. Dependendo do tamanho nanométrico da partícula, ela pode causar um efeito tóxico, permeando através da pele e membranas celulares (HELLAND, 2008; MENDOZA, 2018; RUBIO, 2020).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) publicou um relatório sobre os riscos e impactos dos resíduos gerados pelos nanomateriais, indicando a necessidade de se ter mais pesquisas sobre os riscos de nanomateriais artificiais em resíduos domésticos que possam estarem indo para aterros sanitários e instalações de tratamento de águas residuais que não foram projetadas para filtrar nanopartículas (OECD, 2016). As nanopartículas podem entrar nos sistemas aquáticos diretamente, por meio de descargas industriais ou efluentes de tratamento de águas residuais. A dissolução de nanopar-



tículas pode liberar componentes potencialmente tóxicos para o meio ambiente (JANG, 2014).

Segundo CNPEM (2019 [on-line]), os impactos dos nanomateriais na saúde humana "podem ser assimilados pelo corpo humano por quatro vias principais: (i) nasal (inalação), (ii) oral (ingestão), (iii) dérmica (adsorção) e (iv) intravenosa (injeção)".

Musee (2011, p. 122-124) apresenta classificação de nanoresíduos devido aos seus efeitos tóxicos em humanos e outros sistemas ecológicos:

- Classe I: perigo - **muito baixo ou nenhum efeito tóxico**; exposição - *baixa a alta*; perfil de risco - nenhum a muito baixo. Exemplos de tais produtos, que posteriormente formarão a classe dos nanoresíduos são: painéis traseiros de telas de televisão, painéis solares e chips de memória.

O perigo durante a gestão de resíduos pode ser causado pela toxicidade dos materiais originais para os seres humanos e o ambiente, no caso de exceder o limite de concentração.

- Classe II: perigo - **efeitos nocivos ou tóxicos**; exposição - *baixa a média*; perfil de risco - baixo a médio. Este grupo inclui produtos usados como: painéis de display, painéis solares, chips de memória, agentes de polimento, tintas e revestimentos. Esses nanoresíduos, devido a sua toxicidade, podem causar efeitos agudos ou crônicos, portanto, é recomendado o gerenciamento adequado e ideal dos resíduos durante os processos de manuseio, transporte ou descarte.
- Classe III: perigo - **efeitos tóxicos a muito tóxicos**; exposição - *baixa a média*; perfil de risco - médio a alto. Exemplos de produtos usados são: embalagens de alimentos, aditivos alimentares, águas residuais contendo produtos de higiene pessoal e pes-



ticidas. Para esses nanoresíduos é necessário determinar se a infraestrutura de gerenciamento de resíduos atual é adequada para descartar com segurança os resíduos perigosos.

- Classe IV: perigo - **efeitos tóxicos a muito tóxicos**; exposição - *média a alta*; perfil de risco - alto. Exemplos neste grupo são: tintas e revestimentos, produtos de higiene pessoal e pesticidas. Devido às propriedades tóxicas devem ser descartados em locais designados para resíduos perigosos.

- Classe V: perigo - **muito tóxico a efeitos extremamente tóxicos**; exposição - *média a alta*; perfil de risco - alto a muito alto. Este grupo inclui produtos usados como: pesticidas, protetores solares e alimentos e bebidas contendo fulerenos em suspensões coloidais. Esses nanoresíduos devem ser armazenados apenas em locais designados para resíduos perigosos. A gestão inadequada de resíduos pode levar à poluição significativa de vários sistemas ecológicos. Para este grupo de nanoresíduos, a imobilização e neutralização são recomendadas como as técnicas de tratamento mais eficazes.

É necessário fazer uma caracterização do nanoresíduo para um bom gerenciamento adequado desse tipo de resíduo, sendo o mais comum verificar qual a composição dos nanomateriais. Um exemplo é o caso de nanocompósitos revestidos ou nanocápsulas, nas quais deve ser verificado o núcleo da partícula e revestimento. Outra caracterização é analisar a concentração de massa e do número de partículas, para se ter a relação à toxicidade e para a diferenciação entre as concentrações de espécies provenientes de íons dissolvidos, nanopartículas ou coloides. A forma dos nanomateriais também pode influenciar a toxicidade, transporte e comportamento de nanomateriais no ambiente, que também são influenciados pelo estado de agregação (PART *et al.*, 2015).



Quando os nanomateriais são no formato de nanopartículas, pode ocorrer um aumento da reatividade, pela grande área de superfície em relação ao volume, tornando-as mais tóxicas, podendo facilitar o transporte no meio ambiente e em células humanas e/ou animais (WICKSON, 2012).

A possibilidade de reciclagem dos nanoresíduos dependerá da forma de como será realizado, sendo que terá o risco potencial à exposição. Processos de trituração, moagem e processos térmicos elevam esse risco, pois deve ter no local uma exaustão que retenha esses nanoparticulados (OECD, 2016).

Como disposição final, as condições ambientais em aterros sanitários, como baixo pH e um ambiente anaeróbio, podem favorecer na liberação de nanomateriais que estejam incorporados em polímeros, produtos metálicos, resíduos de construção, sendo liberados no lixiviado como resultado de tensão e abrasão durante a compactação e/ou contato com lixiviado de natureza agressiva. Um exemplo são os nanotubos de carbono, que são um dos nanomateriais mais utilizados. Se os produtos contendo nanotubos de carbono forem aterrados, eles podem se decompor lentamente, dependendo de sua degradabilidade e potencialmente liberar nanotubos para o lixiviado (ou via poeira de compostos intemperizados). Em contraste, a situação em um aterro sanitário não controlado pode levar a uma maior liberação pós-consumo no meio ambiente de nanotubos de carbono (RATWANI, 2018).

Devido aos diversos tipos de nanomateriais existentes, uma única forma de gerenciamento e manejo dos seus resíduos não será suficiente, sendo importante entender as propriedades dos nanoresíduos específicos. O desenvolvido de procedimentos de descarte e disposição dos nanoresíduos devem garantir que sejam desativados de suas perigosas propriedades. Algumas das alternativas para essa desativação, dependendo do tipo de material, pode ser por processamento térmico, químico ou físico de resíduos contendo nanotecnologia (GSDR, 2021).



Segundo estudo de Monikh *et al.* (2021), a aplicação das nanotecnologias em produtos do cotidiano ainda precisa de estudos mais aprofundados, principalmente avaliando os efeitos adversos e o destino dos nanomateriais no meio ambiente. Existe um desafio para testes de ecotoxicidade dos nanomateriais, pois os testes foram desenvolvidos para produtos químicos moleculares, não prevendo a dimensão nano.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução das nanotecnologias só tende a aumentar, nas mais diversas áreas de produção, utilizando-se dentre elas dos nanomateriais. Porém, cabe uma reflexão sobre a gestão e gerenciamento dos resíduos gerados nesses processos e até mesmo quando estes são descartados de forma incorreta no meio ambiente, poluindo o solo, água e ar.

Devido ao tamanho e forma dos nanoresíduos, eles possuem propriedades distintas, e a detecção torna-se um processo oneroso. É importante um avanço no desenvolvimento de novas técnicas para caracterização e amostragem de nanoresíduos, para selecionar a melhor forma de tratamento ou disposição final.

Até que ponto há risco durante o processo produtivo quando em contato com essas nanotecnologias? E quando em contato com os nanoresíduos? Será que existem tecnologias suficientes para minimizar os impactos causados por eles?

É importante seguir o princípio da precaução no caso dos nanoresíduos, planejar desde o início do projeto de desenvolvimento de um produto que contenha esse tipo de resíduo, até a forma de gerenciamento desses nanoresíduos. Ainda, é necessário desenvolver mecanis-



mos para avaliar os riscos e impactos que esses nanoresíduos podem causar no meio ambiente e na saúde da população.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama dos RSU no Brasil. 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020>. Acesso em: 29 jun. 2021.

ADAMS, F. C.; BARBANTE, C. Nanoscience, nanotechnology and spectrometry. **Spectrochimica Acta - Part B, Atomic Spectroscopy**, v. 86, p. 3–13, 2013.

ASTRUC, D. Introduction to Nanomedicine. **Molecules**, v. 21, n. 4, p. 299–321, 2016.

BILGILI, M. S.; AGAMUTHU, P. A new issue in waste management: Nanowaste. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 3, 197–198, 2019.

BOGUE, R. Nanosensors: A review of recent research. **Sensor Review**, v. 29, n. 4, p. 310–315, 2009.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 29 jun. 2021.

BRASIL. **Lei 11.105 de 24 de março de 2005**. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm. Acesso em: 28 jun. 2021.

BRATOVCIC, A. Different Applications of Nanomaterials and Their Impact on the Environment. **International Journal of Material Science and Engineering**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019.

CNPEN. Benefícios e riscos das nanotecnologias. Disponível em: <https://cnpem.br/wp-content/uploads/2019/10/SEPARATA->



-CNPEM-02_Benef%C3%ADcios-e-riscos-das-nanotecnologias.pdf.
Acesso em: 30 jun. 2021.

DOMINGOS, D. C.; BOEIRA, S. L. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos domiciliares. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, p. 14-30, 2015.

ENGELMANN, W.; HOHENDORFF, R. V.; LEAL, D. W. S. Autorregulação e riscos: desafios e possibilidades jurídicos para a gestão dos resíduos nanoparticulados. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS**, n. 39, vol. esp., p. 213, 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Recommendation on the Definition of a Nanomaterial**. 2011. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reco/2011/696/oj>. Acesso em: 10 jun. 2021.

FILHO, A. H. M.; FUMAGALI, E. O.; OLIVEIRA, L. P. S. O Sistema Jurídico Brasileiro e o descarte de Nanomateriais. **Interfaces Científicas – Direito**, v. 5, n. 2, p. 25, 2017.

GSDR. Nanotechnology, Nanowaste and Their Effects on Ecosystems: A Need for Efficient Monitoring, Disposal and Recycling. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/9539GSDR_Nano_brief%204.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.

HELLAND, A. *et al.* Reviewing the environmental and human health knowledge base of carbon nanotubes. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, n. 2, p. 441-452, 2008.

ISO. TS 18110:2015. **Nanotechnologies – Vocabularies for science, technology and innovation indicators**. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/61482.html>. Acesso em: 29 jun. 2021.

JANG, M. H.; BAE, S. J.; LEE, S. K.; LEE, Y. J.; HWANG, Y. S. Effect of material properties on stability of silver nanoparticles in water. **J Nanosci Nanotechnol**. v. 14, n. 12, p. 9665-9669, 2014.



MENDOZA, L. M. R.; KARAPANAGIOTI, H.; ÁLVAREZ, N. R. Micro(nano-plastics) in the marine environment: Current knowledge and gaps.

Current Opinion in Environmental Science & Health, v. 1, p. 47, 2018.

MUSEE, N. Nanowastes and the environment: potential new waste management paradigm. **Environment International**, Oxford, v. 37, p. 112-128, 2011.

NANOREG. **A common European approach to the regulatory testing of nanomaterials**. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/310584>. Acesso em: 29 jun. 2021.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **What it is and how it works**. Disponível em: <https://www.nano.gov/nanotech-101/what>. Acesso em: 28 jun. de 2021.

OECD. Organization for Economic Co-Operation and Development. **Nanomaterials in Waste Streams: Current Knowledge on Risks and Impacts**. 2016. Disponível em: <https://www.oecd.org/environment/waste/nanomaterials-in-waste-streams-9789264249752-en.htm>. Acesso em: 29 jun. 2021.

OLIVEIRA, L. P. S.; MARINHO, M. E.; FUMAGALI, E. O. Nanowastes riscos para saúde humana e meio ambiente: diálogos entre o princípio da precaução e a sociedade de risco. **Revista Iberoamericana de Filosofia, Política y Humanidades**. v. 17, n. 33, p. 183-209, 2015.

ORTIGARA, R. J. **Nanotecnologias, riscos e proteção ao consumidor**. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2019. 164 p.

PART, F.; ZECHA, G.; CAUSON, T.; SINNER, E. K; MARION, H. H. Current limitations and challenges in nanowaste detection, characterisation and monitoring, **Waste Management**, v. 43, p. 407-420, 2015.

PL 880/2019. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135353>. Acesso em: 01 jun 2021.



PNRS, 2010. **Lei n° 12.305/10**, Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 jun. 2021.

RATWANI, C. R. Nanowaste: Tiny waste that matters a lot. **International Journal of Current Research**, v. 10, n. 6, p.70262-70268, 2018.

RUBIO, L.; MARCOS, Ricard; HERNÁNDEZ, Alba. Potential adverse health effects of ingested micro and nanoplastics on humans. Lessons learned from in vivo and in vitro mammalian models. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B**, v. 23, n. 2, 2020.

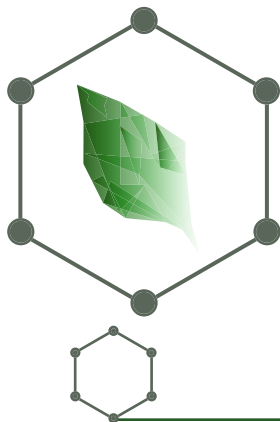
SMETS, G.; RÜDELSHEIM, P. Biotechnologically produced chitosan for nanoscale products. A legal analysis. **New Biotechnology**, v. 42, p. 42–47, February, 2018.

STATNANO. **Publicações de nanotecnologia (artigo)**: Número de artigos relacionados à nanotecnologia indexados no Web of Science (WoS). Disponível em: <https://statnano.com/report/s29>. Acesso em: 28 jun. 2021.

STATNANO NANOMATERIALS. **Nanomaterials**. Disponível em: <https://statnano.com/nanomaterials>. Acesso em: 28 jun. 2021.

STATNANO USPTO. **Patentes de nanotecnologia no USPTO (patente)**. Disponível em: <https://statnano.com/report/s103/3>. Acesso em: 28 jun. 2021.

WICKSON, F.; GILLUND, F.; MYHR, A. I. Tratando as nanopartículas com precaução: reconhecendo a incerteza qualitativa na avaliação científica do risco. **Política & Sociedade**, v. 11, n. 20, 2012.



ERA NANOTECNOLÓGICA E RISCO: EM QUE MEDIDA A PRECAUÇÃO É (DES)NECESSÁRIA?

**Raquel Von Hohendorff
Daniele Weber S. Leal**



1 INTRODUÇÃO

Presencia-se desde o início do século XXI a evolução da era nanotecnológica, a qual traz consigo a produção e manipulação de matéria em escala nano, equivalente a bilionésima parte de um metro. No mercado, é possível encontrar uma gama de novos produtos, desde o uso doméstico (como televisores, celulares, geladeiras) até industrial, como na indústria aeronáutica, bélica, dentre tantos outros.

Neste cenário, temos a complexidade das nanotecnologias, que vem permeada por dúvidas, inquietações, incertezas científicas e promessas maravilhosas das benesses desta nova tecnologia. A era nanotecnológica é uma realidade, com demandas antes sequer imaginadas, dada a particularidade das propriedades em escala nano, com as quais o Direito está sendo convocado para solucionar adequadamente estas resoluções, buscando alternativas regulatórias, ante a ausência legislativa específica para o desenvolvimento dos nanoprodutos.

O tema igualmente encontra-se ligado ao cenário das inovações tecnológicas e à Quarta Revolução Industrial, movimento atual que se mobiliza para desenvolver novas opções, novos produtos. Contudo, muito embora o desenvolvimento desta nanotecnologia venha alcançando contornos significativos, não há regulação específica. Como



consequência da crescente produção e consumo das nanotecnologias, vislumbram-se novos problemas: de que maneira é possível conduzir o desenvolvimento nanotecnológico sem prejudicar o meio ambiente? Ou quais os parâmetros mínimos de cuidado que devem ser implementados?

A pesquisa justifica-se porque se desconhecem publicamente os possíveis riscos que as nanotecnologias – uma nova tecnologia utilizada na produção de diversos produtos comercializados atualmente – podem gerar (e podem já estar gerando) para os seres humanos e o meio ambiente. Além disso, nada ou pouco existe em termos de regulação jurídica dessa matéria. Não se tem conhecimento sólido sobre suas propriedades físico-químicas, seu potencial de degradação e de acumulação no meio ambiente, sua toxicidade ambiental ou sua toxicidade em relação ao trabalhador em contato com as nanotecnologias.

Portanto, o presente trabalho está dividido em analisar as nanotecnologias, como espécie das novas tecnologias utilizadas na produção atualmente, e de que maneira o atual cenário nanotecnológico traz os riscos e uma verdadeira *metamorfose* (BECK, 2018), na tentativa de garantir a dignidade da pessoa humana desde o trabalhador até o consumo, e o meio ambiente equilibrado e sadio como um direito fundamental do mesmo. A proposta é sistemática, com o fim de harmonizar os avanços científicos e tecnológicos com a saúde e a proteção da pessoa humana e do meio ambiente, viabilizando tal desenvolvimento de maneira responsável com a atual e as futuras gerações, através da precaução e prevenção. Para tanto, utilizou-se a perspectiva metodológica sistêmico-construtivista, que considera a realidade como uma construção de um observador, analisando todas as peculiaridades implicadas na observação, tratando-se de uma forma 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.



Essa abordagem pressupõe a compreensão do Direito enquanto um sistema social autopoiético, cujas operações são comunicativas, desenvolvidas através de processos de tomada de decisões elaborados no interior de certa organização jurídica. Um sistema que se constitui como uma parcela do ambiente da sociedade, também compreendida aqui com um sistema autopoiético. É na perspectiva sistêmico-funcionalista que se pretende estabelecer este elo de ligação entre o problema e uma solução a ser construída.

2 ERA NANO OU NANOMUNDO? APRESENTANDO AS NANOTECNOLOGIAS E SEUS RISCOS

Esta parte inicial objetiva apresentar as nanotecnologias, partes integrantes da Quarta Revolução Industrial, demonstrando a realidade desta nova tecnologia, dados sobre seu surgimento, usos e aplicações nas mais diferentes áreas do conhecimento humano, bem como o imprescindível e necessário estudo das nanotecnologias ao longo de todo seu ciclo de vida, tudo sempre perpassado pela preocupação com a sustentabilidade.

Assim, é necessária uma configuração textual sobre a nanotecnologia, um dos tipos de inovação tecnológica da pós-modernidade, destacando sua origem, o que realmente é, seus usos na atualidade, os setores produtivos envolvidos e os investimentos mundiais atuais neste campo de inovação. 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, 2016). Assim, o avanço das nanotecnologias, uma das novas tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial, com suas mais diferentes 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 sistemas¹, 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.

A nanotecnologia é o conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação, obtido 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, MORAIS, 2006).

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

¹ “Na sociedade atual, vemos uma aproximação entre a ordem política, econômica e jurídica, esta aproximação não significa que os sistemas não tenham sua autonomia, ao contrário, podemos ver a constante necessidade de uma maior abertura cognitiva vinculada a um fechamento operativo, pois só assim a sociedade pode ser analisada como uma malha de comunicação”(ROCHA, MARTINI, 2016. p. 25).



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 nanoescala 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 começa 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 nanoescala 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, geram-se 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. As Ciências Exatas, dentre as quais se sublinha: a Engenharia, a Química, a Física, a Biologia e outras, ainda não conseguiram calibrar a metodologia para a avaliação da segurança dos produtos desenvolvidos à base da nanoescala; se desconhece o número de nanopartículas já produzidas pela ação humana, as denominadas nanopartículas engenheiradas.

Os avanços nas áreas de nanociência e nanotecnologia resultaram em inúmeras possibilidades para aplicações de produtos de consumo, muitos dos quais já migraram de bancos de laboratório para prateleiras de lojas e sites de comércio eletrônico. Os nanomateriais foram cada



vez mais incorporados aos produtos de consumo, embora a pesquisa ainda esteja em andamento sobre seus potenciais efeitos no meio ambiente e na saúde humana (VANCE *et al.*, 2015). Muito pouco hoje é conhecido acerca do comportamento ambiental e os efeitos da liberação de nanopartículas, embora estes sejam materiais que já se encontram efetivamente presentes no ambiente. Mais pesquisas são necessárias para determinar se a liberação e os processos de transformação resultam em um conjunto de nanopartículas similar ou mais diversificada e, finalmente, como isso afeta o comportamento ambiental (NOWACK *et al.*, 2012).

As nanopartículas são o *tijolo* básico de um número crescente de novos materiais, são usados cada vez mais frequentemente nos produtos diários, porque apresentam características muito interessantes, em muitos aspectos, inesperadas, que dão as propriedades finais do produto que o tornam muito lucrativo. O impulso dado a novos tipos de pesquisa e as aplicações apressadas de seus resultados para desenvolver produtos que podem ser vendidos em quantidades consideráveis e com um ótimo valor agregado não permitem tempo para perceber quais as consequências reais em termos de meio ambiente e saúde. Até agora, a falta de regulamentação para materiais nanométricos tem permitido aos fabricantes vender produtos sem realizar testes preliminares e específicos sobre o ciclo de vida completo de seus produtos (GATTI; MONTANARI, 2015).

O campo dos nanomateriais está se movendo rapidamente, como novos materiais, novas aplicações para os materiais já existentes e novos métodos para produção de nanomateriais. No entanto, a avaliação do risco associado à exposição aos nanomateriais e a caracterização dos riscos não acompanham os avanços em nanotecnologia. Vale dizer, há mais perguntas do que respostas (BUZBY, 2010).

Discorrem Baruah e Dutta (2009, p. 154) sobre o risco e formas de entrada de nanopartículas no corpo humano:



Os materiais em nanoescala estão no mesmo tamanho que o DNA, o Bloco básico de construção de espécimes biológicas, e têm a possibilidade de reagir com espécimes biológicos, ao contrário de maiores partículas. O amplo espectro de aplicações potenciais de nanopartículas levanta questões sobre a segurança de seu uso e efeitos adversos em espécies não visadas. Tanto os expoentes como os críticos da nanotecnologia estão achando extremamente difícil de defender suas crenças, pois há informações limitadas disponíveis para apoiar qualquer lado. Foi mostrado que os nanomateriais podem entrar no corpo humano através de várias portas. Contato involuntário durante a produção ou uso é mais provável que aconteça através dos pulmões, de onde uma translocação rápida através da corrente sanguínea é possível a outros órgãos vitais. Em nível celular, a capacidade das nanopartículas para atuar como um vetor de genes foi demonstrado. As nanopartículas de carbono negro foram observadas para interferir com sinalização celular. (tradução nossa).

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* (HOHENDORFF, 2018, p. 26).

O entusiasmo tanto dos cientistas quanto dos empresários pelas nanotecnologias não mostra sinais de declínio, mesmo que novas preocupações sejam inevitavelmente aumentadas sobre possíveis e agora já demonstrados efeitos adversos durante a fabricação, uso e dispo-



sição do produto. Considerar o ciclo de vida e tentar avaliar possíveis riscos relacionados ao uso e disposição é algo que ninguém pode se dar ao luxo de transgredir (GATTI; MONTANARI, 2015). Diante deste cenário, necessário se faz atentar para tal desenvolvimento com o foco na sustentabilidade – pautada também na precaução – o que respeitaria os Objetivos de Sustentabilidade do Milênio, publicados pela Organização das Nações Unidas (ONU). O avanço responsável da nanotecnologia depende da capacidade científica confiável para acesso e gerenciamento dos riscos e da tomada de decisões no âmbito governamental, buscando levar em consideração os impactos sociais que a tecnologia poderá gerar na sociedade global. Neste conjunto, a participação do Sistema do Direito será fundamental, especialmente para colocar em prática propostas normativas criativas, desenvolvidas sem a necessária participação do Sistema da Política, implementando medidas de precaução e prevenção para as nanotecnologias.

A utilização dos nanoproductos é uma realidade, de maneira irrestrita na sociedade, sem que se saiba ainda sobre seus efeitos no meio ambiente e vida humana. Até mesmo não há informação adequada sobre tal aspecto, de forma que o manejo e comércio ocorrem de forma imprudente. Em virtude do grande desenvolvimento e consumo de nanoproductos, por conseguinte, serão descartados no meio ambiente um número cada vez maior de nanomateriais, para os quais, por ora, não se adota nenhum protocolo específico. Como o objeto deste trabalho é aferir as complexidades das nanotecnologias e gestão apropriada, importante que se introduza as principais inquietações sobre estes resíduos, por exemplo, com respeito ao Princípio da precaução, conforme Part *et al.* (2015, p. 407) lecionam:

Os nanomateriais de engenharia (ENMs) já são amplamente utilizados em diversos produtos de consumo. Ao longo do ciclo de vida de um produto nano-habilitado, os ENMs podem ser liberados e posteriormente se acumulam no meio ambiente. Os



modelos de fluxo de materiais também indicam que uma variedade de ENMs podem se acumular em fluxos de resíduos. Portanto, um novo tipo de resíduos, o chamado nanowaste, é gerado quando do fim-de-vida dos ENMs e quando produtos nano-habilitados são descartados. Em termos do princípio da precaução, o monitoramento ambiental dos ENMs em fim de vida é crucial para avaliar o impacto potencial dos nanowaste no nosso ecossistema. A análise de rastreamento e a quantificação de espécies nanoparticuladas é muito desafiadora por causa da variedade de tipos de ENM que são utilizados em produtos e baixas concentrações de nanowaste esperados em mídia complexa ambiental. [...]. A maioria dos estudos visa investigar o destino do nanowaste durante a incineração, particularmente considerando as medidas de aerossóis; considerando os estudos detalhados centrados na liberação potencial de nanowaste durante a reciclagem de resíduos, os processos atualmente não estão disponíveis. Em termos de métodos analíticos adequados, técnicas de separação acopladas a métodos baseados em espectrometria são ferramentas promissoras para detectar nanowaste e determinar tamanho de partícula na distribuição em amostras de resíduos líquidos. (tradução nossa).

No entanto, a utilização das nanotecnologias sem uma avaliação adequada dos riscos e de uma gestão adequada destes riscos pode configurar-se em caminho como o do amianto, dos transgênicos e dos aerossóis, onde a comercialização passou muito à frente da avaliação ambiental dessas tecnologias. Por tudo isso, a continuidade da produção e do consequente uso de produtos com nanotecnologias exige que se pense sempre sob as luzes dos objetivos do desenvolvimento sustentável, da Agenda 2030 da ONU, especialmente no que diz respeito aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Diversas indagações surgem relativamente às nanotecnologias que assolam o meio ambiente e a saúde humana. Qual é a toxicidade desses materiais, que apresentam características tão diferentes quan-



do em nanoescala? Quais são os métodos apropriados para testes de toxicidade? Quais os impactos para a saúde daqueles que eventualmente manipularão uma nanopartícula? Qual a extensão da translocação dessas partículas no organismo? Qual o efeito dos produtos e seus detritos em contato com o meio ambiente? Perante essas inquietações é que se verifica uma transformação maior na sociedade da inovação, não mais utilizando a expressão Sociedade de Risco (Beck), mas sim *metamorfose*, cenário este que possuímos mais dúvidas que respostas, que assim fomentam as pesquisas nessa área.

Oportuna passagem de Morin, que afirma ser o conhecimento "uma navegação num oceano de incertezas em meio a arquipélago de certezas" (MORIN, 2010, p. 39), assim sendo, é preciso ensinar a "nos despertar para as incertezas e saber enfrentá-las, saber modificar o desenvolvimento das ações em função do desenvolvimento da situações" (MORIN, 2010, p. 41). É o que se busca com este escrito, propondo a viabilização do desenvolvimento das nanos atrelado à precaução e prevenção.

3 RISCOS NANOTECNOLÓGICOS: DO NECESSÁRIO IMPLEMENTO DE MEDIDAS PRECAUCIONAIS

No caso das nanotecnologias, considerando-se o atual estado da arte, com uma velocidade enorme de lançamento de produtos no mercado, em diversos setores, vantagens de suas diversas aplicações, não é diversa a preocupação de avaliação de quanto a sociedade está disposta a arriscar para desfrutar das vantagens, assumindo posteriormente os danos decorrentes. Não é o caso de que o arrependimento pela tomada de decisões proporcione evitar danos, mas que,

[...] el cálculo de riesgos se trata, evidentemente, de lo opuesto: de un programa de reducción al mínimo del arrepentimiento; en todo caso, de un posición inconsistente em el curso del tiempo:



primero así, luego de otro modo. De cualquier manera, entonces, se trata de un cálculo temporal. (LUHMANN, 2006, p. 55). (grifo do autor).

A irreversibilidade tem desenvolvido um papel importante na regulação dos riscos ambientais e na saúde pública. Neste sentido, a irreversibilidade adquire, nos processos de regulação de risco, um sentido motivador: a) de salvaguarda da flexibilidade de opções para as futuras gerações (*option value*) – refere-se à disposição de arcar com o valor temporal ou financeiro associado a adoção de medidas precaucionais a fim de resguardar a flexibilidade quanto às opções possíveis em um futuro incerto; e b) de gravidade: a irreversibilidade opera como uma espécie de amplificador da magnitude (SUSTEIN, 2010).

A preocupação sobre irreversibilidade se refere ao desejo das pessoas de pagar para manter a flexibilidade para o futuro, para evitar perdas que são irreversíveis no sentido de que são irrecuperáveis. O valor depende do tamanho e da natureza da perda e se ela é irreversível. Há que se mencionar que certos bens não são fungíveis, não possuem valores que podem ser escalonados em uma mesma escala do dinheiro, e isso deve ser considerado pelos tomadores de decisões tanto administrativas quanto judiciais (SUSTEIN, 2010). Aí se abre um importante capítulo para o risco, segundo Luhmann (2006, p. 266-267), será eticamente aceitável pagar para ter a aceitação social e científica de riscos causadores de danos (apenas) futuros? Como ficarão as futuras gerações, quando estes danos ocorrerem no futuro? Elas também poderão *negociar* e jogar atitudes concretas de minoração do risco para um novo futuro?

Há ainda outro aspecto a ser considerado, que pode transformar-se em um risco tecnológico maior, de evolução imprevisível, qual seja: a contaminação crônica originada de numerosos pequenos acidentes, afetando o solo e as águas subterrâneas, gerando, diante de um risco difuso e generalizado de contaminação ambiental, efeitos graves e im-



previsíveis, alterando tanto a saúde ambiental quanto a humana (ZANIRATO *et al.*, 2008).

Desta forma, necessário se faz considerar que:

Reconhecer as limitações que a ação transformadora do ambiente precisa ter e a necessidade de promover uma real identidade com o ambiente é um grande desafio para a sociedade na contemporaneidade. Lidar com casos complexos, como os que se apresentam na atualidade, exige a correta compreensão da amplitude do paradoxo que caracteriza a relação da sociedade tecnológica com o meio ambiente (WEYERMÜLLER, ROCHA, 2015, p. 926).

Os instrumentos fundamentais para uma eficiente organização dos processos de gestão de risco nas sociedades contemporâneas são a participação², o desenvolvimento do significado jurídico da precaução e prevenção (AYALA, 2011) e, principalmente, a proteção do direito à informação ambiental de qualidade.

Sobre prevenção e precaução, Luhmann menciona:

Por prevención debe entenderse aquí, en general, una preparación contra daños futuros no seguros, buscando ya sea que la probabilidad de que tengan lugar disminuya, o que las dimensiones del daño se reduzcan. La prevención se puede practicar, entonces, tanto entre el peligro como ante el riesgo. Puede también ocurrir que tomemos precauciones con relación a peligros

² “Quanto à participação pública, esta deve ser significativa e plena em todos os níveis. Meios *abertos* significam que os processos devem facilitar igual a entrada de todas as partes interessadas e afetadas. No geral, a política de nanotecnologia até agora poderia ser adequadamente resumida como *toda a conversa, nenhuma ação*. Se nossos políticos vão esperar até que uma tragédia ocorra ou vão se adaptar preventivamente, resta observar.” KIMBRELL, George A. Governance of nanotechnology and nanomaterials: principles, regulation, and re-negotiating the social contract. **Journal of Law, Medicine and Ethics**, Boston, v. 37, n. 4, winter 2009. Disponível em: http://www.icta.org/files/2012/05/100993_Nano_and_You_lo.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.



que no pueden atribuirse a decisiones propias. Podemos ejercitarnos en el uso de armas, ahorrar dinero para el caso de necesidad o tener amigos a quienes podemos podamos pedir ayuda. Tales estrategias de seguridad son, por así decirlo, simultáneas y tienen su causa general en la consideración de las incertidumbres de la vida. (LUHMANN, 2006. p. 75).

Nesse ponto, denota-se o papel do Direito na concepção do risco, pois tende a buscar formas de prevenção de acontecimentos futuros com base em experiências passadas por meio de decisões presentes.

De acordo com Luhmann (1998, p. 163), "[...] los riesgos conciernen a daños posibles, pero aún no consumados y más bien-improbables, que resultan de una decisión; es decir, daños que pueden ser provocados por ésta, y que no se producirían en caso de tomarse otra decisión". Sobre as decisões, Schwartz (2004, p. 149) explica que "[...] uma decisão é feita com base em alternativas várias (complexidade), tem-se que haverá contingência e o risco de a decisão tomada não ser a correta. Essa contingência é aliviada pela necessária seletividade (decisão), o que não significa certeza".

Nesse contexto, o risco torna-se dependente de decisão, ou seja, o processo de decidir se transforma em risco. Já o perigo não envolve um processo de decisão, pois está ligado a fatores externos à vontade, a fatores que estão fora do seu controle. A indefinição contida na ideia de improbabilidade permite cálculos de probabilidade para o direcionamento de uma realidade e, em função disso, por meio do presente é possível calcular uma expectativa de futuro, que sempre pode ocorrer de maneira diversa. Assim, se favorece uma reflexão de que o futuro como risco não pode se submeter a nenhum cálculo racional (LUHMANN, 2006). Essas reflexões, para Luhmann (2006), são resumidas em apenas uma fórmula: *o risco*.

E, ainda, "[...] cuanto más se sabe, más se constituye una conciencia del riesgo. Quanto más racionalmente se calcule y mientras más



complejo sea el cálculo, de más aspectos nos percataremos y com ellos vendrá mayor incertidumbre em cuanto al futuro y, más riesgo” (LUHMANN, 2006, p.72-73).

Para Rocha (2013, p. 37), o risco está na contingência, porque “[...] uma decisão sempre implica a possibilidade de que as suas consequências ocorram de maneira diferente”. Ainda para o autor, “[...] cada vez que uma decisão é tomada em relação ao futuro (e sabemos que não é fácil tomá-la em razão da grande complexidade), temos que pensar na contingência (como sendo a possibilidade de que os fatos não ocorram da maneira como estamos antevendo)”. Isso evidencia que a produção do futuro dependerá de mecanismos efetivos de tomadas de decisão. Para Luhmann (2006, p. 48), “[...] en el caso del riesgo, la atribución a las decisiones conforme a una serie de distinciones consecuentes, a una serie de bifurcaciones (a un árbol de decisión), cada una de las cuales ofrece, a su vez posibilidades de decisiones riesgosas”.

O princípio da precaução deve estar presente em processos de tomada de decisão que envolvem situações de risco, objetivando sempre a sustentabilidade, bem como o dever de solidariedade que os setores públicos e privados têm em relação às presentes e futuras gerações (HUPFFER; MARTINS; ARTMANN, 2013).

É preciso que as informações decorrentes do estudo dos riscos tenham ampla divulgação e estejam disponíveis para a sociedade, para que os atores³ envolvidos diretamente nas decisões sobre a limitação da nanotecnologia e a sociedade civil tenham melhores condições frente aos desafios surgidos com esta nova tecnologia.

³ “A gestão dos riscos naturais, tecnológicos ou sociais solicita a multiplicação de atores e não pode ser colocada somente em termos técnicos ou estritamente securitários. As negociações devem envolver agências multilaterais, governos dos estados, empresas, associações ou grupos de pressão e a sociedade em geral, de modo a esclarecer os fatos que desencadeiam os riscos e determinar as condições para seu enfrentamento”. ZANIRATO, Silvia Helena *et al.* Sentidos do risco: interpretações teóricas. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 13, n. 785, mayo 2008. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-785.htm>. Acesso em: 20 fev. 2018.



Luhmann (2006, p. 55), mencionando acerca do direito e sua aceitação dos riscos, expõe que:

Al exigir que el derecho acepte riesgos, sólo puede suceder de manera que se destemporalice el juicio sobre lo correcto o lo falso. O dicho de otra manera: los símbolos, como fuerza o validez legal, deben ser utilizados en forma obligada, sin consideración de si el futuro comprobará una decisión como correcta o falsa. Precisamente ésta es la demanda típica de la orientación normativa, de saber desde ahora qué expectativas se podrán mantener también en el futuro.

As decisões têm que ser tomadas, e decisões geram risco. Eis o paradoxo. Tudo isso tem ligação direta com as expectativas das pessoas e da sociedade. Sejam expectativas normativas ou cognitivas, o fato é que elas sempre são afetadas pelo risco das decisões tomadas.

Sobre decisões e riscos, Bréton e Mansilla (2007, p. 566-567):

Decidir es covertir la incertidumbre em riesgo. Uma vez que se há tomado la decisión, no solo se produce um cambio em El sentido indicado por la decisión, sino que las mismas circunstancias son diferentes. Puede que ocurran sucesos directa o indirectamente relacionados com la decisión y, aunque no sea este el caso, es inevitable que el resultado efectivamente logrado influya sobre la evaluación ex post facto que se hará de ella. Em esse momento cuesta ponerse em lãs circunstancias em que tomo la decisión [...] sería necesario hacer um enorme esfuerzo de abstracción para olvidar lo que ya se sabe- y no se sabía - cuando se decidió. (grifo do autor).

Giddens (2000, p. 38) menciona que: "A medida que o risco fabricado se expande, passa a haver algo de mais arriscado no risco. [...] simplesmente não sabemos qual o nível do risco, e em muitos casos não



sabemos ao certo antes que seja tarde demais". E, desta maneira, mais uma vez surge a questão, se for tarde demais, talvez a decisão do sistema da ciência sobre risco repercute no sistema do direito como perigo.

Frade, acerca do risco e o sistema jurídico, menciona que:

[...] diferentes abordagens científicas do risco, não pode deixar de notar-se a ausência de uma abordagem jurídica, tanto mais difícil de explicar quanto é certo que cabe ao direito um papel capital na definição de medidas de gestão dos riscos que povoam as sociedades contemporâneas. São ainda incertos os passos que a análise jurídica vem dando em torno do estudo dos problemas de risco, apesar de o direito ser frequentemente convocado para agir sobre eles.

Resta claro que o sistema do Direito precisa passar a prestar atenção aos riscos, lembrando aqui a perspectiva de Luhmann, que menciona que as pesquisas em Direito devem se preocupar com riscos, analisando-os, conceituando-os, percebendo-os, observando-os, inclusive nos demais sistemas, eis que as irritações podem ocorrer, inclusive com a transformação do que é risco para um sistema e perigo para outros.

Sobre prevenção e precaução, Luhmann menciona:

Por prevención debe entenderse aquí, en general, una preparación contra daños futuros no seguros, buscando ya sea que la probabilidad de que tengan lugar disminuya, o que las dimensiones del daño se reduzcan. La prevención se puede practicar, entonces, tanto entre el peligro como ante el riesgo. Puede también ocurrir que tomemos precauciones con relación a peligros que no pueden atribuirse a decisiones propias. Podemos ejercitarnos en el uso de armas, ahorrar dinero para el caso de necesidad o tener amigos a quienes podemos podamos pedir ayuda. Tales estrategias de seguridad son, por así decirlo, simultáneas y tienen su causa general en la consideración de las incertidumbres de la vida. (LUHMANN, 2006, p. 75).



Uma certeza já existe: independentemente dos riscos nanotecnológicos, os produtos com nanotecnologia seguem entrando no mercado “[...] sem encontrar nenhum obstáculo e tanto os efeitos nos sistemas vitais podem ser graves como cumulativos. Mas o que ainda está longe de qualquer solução são os limites e o preço para as gerações vindouras” (HUPFFER; ENGELMANN; ALTMANN, 2017, p. 94).

Para Louro, Borges e Silva (2013, p. 198), a precaução relacionada às nanotecnologias engloba alguns elementos:

- 1) investigação e monitorização para detecção precoce dos perigos associados aos nanomateriais; 2) redução geral da carga ambiental; 3) promoção de uma produção de nanomateriais ecológica e inovadora; e 4) princípio da proporcionalidade, onde os custos das ações para prevenir os perigos não deverão ser desproporcionais em relação aos seus prováveis benefícios.

Conforme explicou Engelmann, é preciso perguntar como regular; o que regular; por que regular? Será que é a lei que tem de regular isso? Às vezes a lei é o problema, ela congela a realidade – “[...] a lei é sempre uma fotografia do passado que deve ser aplicada a eventos do futuro” (informação verbal). Ainda, segundo Engelmann⁴, precisa-se de uma abordagem precaucional e não precaução paralisante, paralelamente ao desenvolvimento, com controle responsável dos efeitos: “Ao invés da lei, com sérias consequências, inclusive um engessamento do desenvolvimento de conhecimento, talvez se pudesse pensar em outras alternativas regulatórias, como a autorregulação, por exemplo” (informação verbal).

Aragão (2008, p. 16) entende que o princípio da precaução não é um motivo de estagnação ou bloqueio do desenvolvimento científico, mas, pelo contrário, uma fonte de progresso científico, que atenua

⁴ Informação coletada na audiência pública sobre a situação das nanotecnologias no país. Realizada no Senado Federal em Brasília, DF, em 13 de dezembro de 2012.



a insegurança jurídica na gestão do risco. Embora exista um temor de que uma abordagem precaucionária asfixie a inovação, pelo contrário, ela pode sim proporcionar oportunidades de compreensão de sistemas complexos emergentes, considerando os aspectos de saúde humana e ambiental (LOURO; BORGES; SILVA, 2013). Contrariamente ao que se pensa, é mais um princípio de ação do que de inação, e não consiste em pensar-se como máxima: na dúvida, não faça nada, mas sim, antes, na dúvida, põe em prática tudo o que te permita agir melhor (FRANC, 2003).

O Princípio da Precaução é considerado pela doutrina de Direito Ambiental como o “[...] princípio fundante e primário da proteção dos interesses das futuras gerações [...]” (CANOTILHO, 2008, p. 06), que torna imperativo adotar “[...] medidas preventivas e justifica a aplicação de outros princípios, como o da responsabilização e da utilização das melhores tecnologias disponíveis”. (CANOTILHO; LEITE, 2008, p. 09). Num tempo e numa sociedade de riscos, o princípio da precaução contribui determinantemente para realizar a justiça tanto numa perspectiva intrageracional quanto intergeracional (ARAGÃO, 2008).

Existem três circunstâncias que justificam a aplicação do princípio da precaução, segundo Aragão (2002), quando não se verificarem danos decorrentes da atividade, mas, apesar da falta de provas científicas, há suspeitas de que possam ocorrer; quando já há danos no meio, mas não há provas científicas acerca da causa deles; ou ainda quando há danos provocados ao meio ambiente, mas não há provas científicas sobre o nexo de causalidade entre uma causa possível e os danos ocorridos.

Entre os princípios e indicadores que devem ser seguidos para a supervisão das nanotecnologias e nanomateriais podem ser citados (INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT, 2007): a) abordagem precaucional; regulamentos específicos obrigatórios; b) preocupação com saúde e segurança dos trabalhadores; c) preocupação com a susten-



tabilidade ambiental; d) transparência; participação pública⁵; e) estudos mais amplos acerca de impactos; e f) responsabilidade do fabricante.

Quando ausente uma base científica sólida, se exigem do Direito decisões juridicamente vinculativas em condições de grande incerteza, ou seja, decisões de sim ou não sobre atividades, produtos, substâncias ou técnicas, de modo que os juristas devem agir com prudência e um especial bom senso na aplicação das medidas evitatórias (ARAGÃO, 2008). Não apenas o princípio da precaução deve ser invocado e servir de base na tomada de decisões, mas também o princípio da informação precisa ser mencionado e efetivamente aplicado.

A gestão de riscos ambientais envolve a prevenção e a precaução, sendo que a prevenção lida com previsão, e a precaução atua em situações de riscos sem base comprobatória segura. A precaução estabelece um padrão de prova menos exigente, mais amplo e orientado contextualmente para a gravidade de risco (CARVALHO, 2011, p. 49). É em nome do princípio da precaução que se pode, por exemplo, no caso das nanotecnologias, estabelecer que sejam efetuados estudos prolongados no tempo, para que sejam produzidos dados mais confiáveis acerca dos riscos e efeitos. As pesquisas sobre os impactos das nanopartículas no meio ambiente estão apenas no início e é o caso de se aplicar o princípio da precaução e exigir que sejam desenvolvidas de forma concomitante pesquisas que considerem as inovações tecnológicas advindas da nanotecnologia e as pesquisas toxicológicas devido ao uso e disposição destas nanopartículas nos ecossistemas naturais (MARTINS, 2009, p. 295).

⁵ A participação do público deve ser aberta de forma a facilitar a contribuição dos diferentes atores e interessados e as novas regulamentações devem exigir que o público em geral de todas as nações, bem como as futuras gerações sejam considerados como agentes ou interessados nestas questões. INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT. **Principles for the oversight of nanotechnologies and nanomaterials.** Washington: NanoAction, Jan. 2007. (NanoAction Project). Disponível em: http://www.centerforfoodsafety.org/files/final-pdf-principles-for-oversight-of-nanotechnologies_80684.pdf. Acesso em: 17 fev. 2018.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As nanotecnologias são um excelente exemplo de inovação, que estão se desenvolvendo rapidamente sem uma estrutura regulatória específica e com falta de atenção suficiente na gestão de risco necessária e na preocupação em lidar com riscos presentes e futuros. Estima-se que a mão de obra e os mercados globais baseados em nanotecnologia dobrarão a cada três anos, e que tal inovação tecnológica terá enormes implicações econômicas até 2030.

As nanotecnologias vêm sendo destacadas como uma área inovadora com inúmeros potenciais, inclusive para contribuir positivamente para a busca da sustentabilidade, e, assim, atraem cada vez mais investimentos, mas, ao mesmo tempo, as dúvidas e incertezas acerca dos riscos nanotecnológicos permanecem. São promessas benéficas de avanço na medicina, na remediação ambiental e tantas outras áreas. Os benefícios são elevados, porém, esta tese incluiu diversos resultados de pesquisas divulgados pelo Sistema da Ciência que acendem um sinal de alerta no que se refere à saúde humana e ao meio ambiente. Assim, na contramão deste viés positivo, observa-se o cenário de risco, com alertas da comunidade científica que trazem para o debate o risco de danos jamais vistos na interação das nanopartículas com o ecossistema, de modo que se faz necessário impor certo grau de precaução e estabelecer diretrizes mínimas de segurança, a fim de proteger as presentes e futuras gerações. O cenário das nanotecnologias exigirá a tomada de decisão perspectivada no presente e futuro.

Apesar de todo o avanço científico dos últimos anos, ainda não foram devidamente avaliados os benefícios potenciais das nanotecnologias especialmente em relação aos possíveis riscos nanotecnológicos à saúde humana e ambiental. Mas há que se seguir, eis que de cada nova decisão, surgem novos riscos. A ideia está posta e se for transformada em certificação, código de conduta ou qualquer outro instrumento de origem estatal ou não, caberá às organizações, tanto do Sistema da Ci-



ência quanto do Sistema do Direito, decidirem (e correrem os riscos em função da decisão).

Portanto, como resposta à problematização do estudo, entende-se que ao Sistema do Direito, em função de ser um dos responsáveis pela avaliação e regulação dos impactos gerados pelas nanotecnologias, bem como do gerenciamento de riscos, cabe o desafio de aprender a trabalhar juntamente com outros sistemas, de forma a permitir uma melhor comunicação intersistêmica, de modo a permitir um desenvolvimento nanotecnológico de modo sustentável, mas principalmente dando destaque para implementação de medidas precaucionais, as quais já fazem parte desta nova era nanotecnológica.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, Alexandra. **Direito comunitário do ambiente**. Coimbra: Almedina, 2002.

ARAGÃO, Alexandra. Princípio da precaução: manual de instruções. **Revista do Centro de Estudos Direito do Ordenamento, do Urbanismo e do Ambiente - RevCEDOUA**, Coimbra, v. 11, n. 2, 2008. Disponível em: https://digitalis.uc.pt/pt-pt/artigo/princípio_da_precaução_manual_de_instruções. Acesso em: 16 jun. 2021.

AYALA, P. Transdisciplinaridade e os novos desafios para a proteção jurídica do ambiente nas sociedades de risco: entre direito, ciência e participação. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, ano 16, n. 61, jan./mar. 2011.

BARUAH, S; DUTTA, J. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review. **Environmental Chemistry Letters**, Secaucus, v. 7, n. 3, p. 201-202, Sept. 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-009-0228-8>. Acesso em: 05 maio 2021.



BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Editora Zahar. 2018.

BERGER FILHO, Aírton Guilherme; ENGELMANN, Wilson; Reflexões sobre novos rumos para a regulação das nanotecnologias. *In*: PEREIRA, Agostinho Oli Koppe; HORN, Luiz Fernando Del Rio (Org.). **Relações de consumo**: tecnologia e meio ambiente. Caxias do Sul: Ed. EDUCS, 2013. p. 84. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/RC_TECNOLOGIA_EBOOK.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

BUZBY, Jean C. Nanotechnology for food applications: more questions than answers. **The Journal of Consumer Affairs**, Malden, v. 44, n. 3, 2010. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-6606.2010.01182.x/epdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

CANOTILHO, José Joaquim Gomes; LEITE, José Rubens Morato. **Direito constitucional ambiental brasileiro**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

CARVALHO, Delton Winter de. A construção probatória para a declaração jurisdicional da ilicitude dos riscos ambientais. **Revista da AJURIS**, a. XXXVIII, n. 123, Set. 2011.

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.

FRADE, Catarina. Direito face ao risco. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, Coimbra, n. 86, p. 54, set. 2009. Disponível em: rccs.revues.org/pdf/220. Acesso em: 16 jun. 2021.

FRANC, Michel. Traitement juridique du risque et principe de précaution. **L' Actualité Juridique Droit Administratif - AJDA**, [S.l.], n. 8, mar. 2003. Documento em PDF.



GATTI, Antonietta M.; MONTANARI, Stefano. Case studies in nanotoxicology and particle toxicology. Cambridge: Academic Press, 2015.

GIDDENS, Anthony. **Mundo em descontrole**: o que a globalização está fazendo de nós. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Record, 2000.

HOENDORFF, Raquel. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Direito Público. 2018. 480 p. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 29 maio 2021.

HUPFFER, Haide Maria; ENGELMANN, Wilson; ALTMANN, Maicon. As nanotecnologias e o futuro do que se conhece por humanos: uma reflexão a partir do princípio responsabilidade de H. Jonas. *In*: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria (Org.). **BioNanoÉtica**: perspectivas jurídicas. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2017. p. 94.

HUPFFER, Haide Maria; MARTINS, Júlia Bianchim Botão Martins; ARTMANN, Maicon. A experiência do Rio de Janeiro na implementação do ICMS verde. *In*: HUPFFER, Haide Maria; WEYERMÜLLER, André Rafael (Org.). **ICMS ecológico**: instrumento de estímulo à conservação e à proteção ambiental. Porto Alegre: Entremeios, 2013.

INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT. **Principles for the oversight of nanotechnologies and nanomaterials**. Washington: NanoAction, Jan. 2007. (NanoAction Project). Disponível em: http://www.centerforfoodsafety.org/files/final-pdf-principles-for-oversight-of-nanotechnologies_80684.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

KIMBRELL, George A. Governance of nanotechnology and nanomaterials: principles, regulation, and re-negotiating the social contract.



Journal of Law, Medicine and Ethics, Boston, v. 37, n. 4, winter 2009. Disponível em: http://www.icta.org/files/2012/05/100993_Nano_and_You_lo.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

LOURO, Henriqueta; BORGES, Teresa; SILVA, Maria João. Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, Lisboa, v. 31, n. 2, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259133108_Nanomateriais_manufaturados_-_Novos_desafios_para_a_saude_publica. Acesso em: 16 jun. 2021.

LUHMANN, Niklas. **Complejidad y modernidad**: de la unidad a la diferencia. Traducción de Josetxo Beriain e José María García Blanco. Madrid: Editorial Trotta, 1998.

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

MARTINS, Paulo. Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável. **Estudios Sociales**, v. 17, n. 34, jul. dez. 2009.

MORIN, Edgar. **Meu caminho**. Tradução Edgard de Assis Carvalho. Editora Bertrand, 2010. ISBN 9788528614367.

NOWACK, Bernd *et al.* Potential scenarios for nanomaterial release and subsequent alteration in the environment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 31, n. 1, Jan. 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22038832>. Acesso em: 15 maio 2021.

PART, Florian *et al.* Current limitations and challenges in nanowaste detection, characterisation and monitoring. **Waste Management**, New York, n. 43, p. 407, Sept. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26117420>. Acesso em: 05 jul. 2021.

ROCHA, Leonel Severo. **Introdução à teoria do sistema autopoietico do direito**. 2. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013.



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

RODRÍGUES MANSILLA, Darío; OPAZO BRÉTON, María Pilar. **Comunicaciones de la organización**. Colaboración de René Ríos F. Santiago de Chile: Ed. Universidad Católica de Chile, 2007.

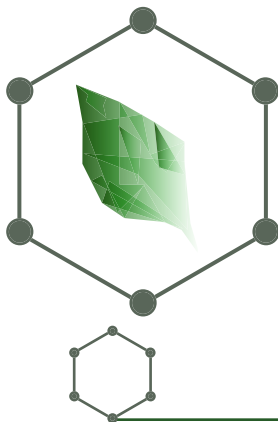
SCHWARTZ, Germano. **O tratamento jurídico do risco no direito à saúde**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2004. p. 149.

SUSTEIN, Cass R. Irreversibility. **Law, Probability and Risk**, London, v. 9, n. 3-4, Sept. 2010. Disponível em: <https://academic.oup.com/lpr/article/9/3-4/227/936145>. Acesso em: 19 fev. 2018.

VANCE, Marina E. *et al.* Nanotechnology in the real world: redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, Frankfurt am Main, n. 6, Aug. 2015. Disponível em: <http://www.beilstein-journals.org/bjnano/content/pdf/2190-4286-6-181.pdf>. Acesso em: 19 maio 2020.

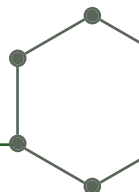
WEYERMÜLLER, André Rafael; ROCHA, Leonel Severo. Paradoxo e meio ambiente: uma perspectiva Luhmaniana. **Novos Estudos Jurídicos**, Itajaí, v. 20, n. 3, p. 926, set./dez. 2015. Disponível em: <https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/nej/article/view/8359/4701>. Acesso em: 16 fev. 2018.

ZANIRATO, Silvia Helena *et al.* Sentidos do risco: interpretações teóricas. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 13, n. 785, maio 2008. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-785.htm>. Acesso em: 20 fev. 2018.



A MÃE NATUREZA EM UM MUNDO DADO: RESOLVENDO O PROBLEMA DA PRECAUÇÃO NANOTECNOLÓGICA

Daniela Pellin



1 INTRODUÇÃO

O universo das novas tecnologias tem impulsionado a sociedade a movimentos disruptivos que interrompem com os processos históricos, sociais, políticos, econômicos e culturais de, até então, e inovam em outros sentidos, alterando, significativamente, o percurso da história da compreensão humana de si mesma e da melhor forma de sobrevivência a partir da transformação de recursos naturais; hoje, emergem estudos aplicados e tecnológicos para poupar as futuras gerações dos impactos desse percurso. Com isso, a sociedade está mergulhada na digitalização de toda forma de atividade humana, seja do ecossistema natural ou artificial. Estão todos alocados na Sociedade Informacional produzindo conhecimento em rede global. Trata-se do mundo dado e da cidadania digital exercida pelo infovíduo.

Ao usar como recorte temporal o advento da rede de internet, idos de 1990 e a sua popularização e uso comercial que, logo em seguida, deu ensejo à publicação do Livro Verde da Sociedade da Informação, em 2000, depreende-se que todas essas mudanças que estão sendo vivenciadas, desde então, estão a estruturar a Sociedade em Rede, a Globalização cultural, econômica e tecnológica e, sobretudo, o sistema



econômico da Nova Economia que faz funcionar a Quarta Revolução Industrial.

É nesse cenário onde o mundo é dado que as nanotecnologias ocupam posição de protagonismo ao lado do meio ambiente, no sentido de poupar-lhe o uso e substituí-lo em todas as formas de observação da natureza. A promessa das nanotecnologias é observar a natureza e reproduzi-la em laboratório, substituindo a extração natural em prol da proteção ambiental para as futuras gerações. Mas, ainda assim, as externalidades, ainda não mensuráveis, são esperadas. Isso significa que, junto com os benefícios, os malefícios; junto com o desenvolvimento, o risco; junto com a tomada de decisão, a (ir)responsabilidade.

Por causa desse paradoxo que permeia desenvolvimento *versus* risco; promessa *versus* efeitos colaterais, é que o princípio de precaução se apresenta como régua que orienta a tomada de decisão sobre incrementos nanotecnológicos em contrapartida aos riscos ambientais e à saúde humana.

Todavia, ainda assim, o problema não se tem resolvido. A precaução trata-se de um princípio preenchido a depender da conveniência, oportunidade, cultura, investimentos, política, educação etc. Muito embora a precaução seja a régua da ética da responsabilidade para a tomada de decisão, o conceito de precaução que deveria ser aplicado encontra-se esvaziado de sentido único de linguagem entre governos, povos e culturas, portanto, falível para cumprir seus propósitos de perpetuar o ecossistema ambiental global para futuras gerações. Nisso reside, ainda, problema para pesquisa.

Por isso, a investigação parte da seguinte pergunta: em que condição o princípio da precaução nanotecnológica poderia ser preenchido para a preservação ambiental, atualmente? A resposta inicial que se apresenta como hipótese é a de que o princípio da precaução deve ser preenchido com o Mundo Dado, trocando o espaço da hermenêutica filosófica jurídica e ou política que o interpreta e aplica pelo universo



dos dados em rede coletados e armazenadas por todos os atores que retroalimentam a rede das redes; dados produzidos pela sociedade do conhecimento, *locus* onde o meio ambiente tem assento e voz mediante a singularidade do dado.

Para perseguir essa resposta, a pesquisa tem como objetivo geral demonstrar que a Sociedade da Informação é o *locus* de presença e de atuação do infovíduo sobre a cidadania digital que pode atuar sobre a tomada de decisão nanotecnológica e fazer valer, por dados da rede, o princípio da precaução ambiental. E, como objetivos específicos, apresentar o cenário da Sociedade da Informação e o Mundo Dado; a cidadania digital e a produção dos dados em rede democrática de informação e conhecimento; a possibilidade de o infovíduo tomar assento em processos de gestão nanotecnológica, nas esferas pública e privada.

A metodologia aplicada tem abordagem sistêmica; método dedutivo e técnicas de pesquisa que comportam revisão bibliográfica, nacional e estrangeira, coleta de dados e análise qualitativa. Os resultados apontam no sentido de validação da proposta, mas, ainda há necessidade de abertura política organizacional e institucional, para que a ponte que separa o infovíduo e a participação democrática dos dados produzidos na rede da Sociedade da Informação tenham espaço de interação para informar o princípio da precaução nanotecnológica.

2 AS NANOTECNOLOGIAS E O MEIO AMBIENTE: AMBOS EM UM LUGAR COMUM DE POLÍTICA DE PRECAUÇÃO E DE PRECAUÇÃO COM A POLÍTICA

A pesquisa tem como objeto o desenvolvimento e aplicação de nanotecnologia, ou seja, aquela tecnologia molecular ou atômica que, não vista a olho nu (10⁹), impactando, consideravelmente, sobre a relação jurídica entre a causa, o efeito e os danos emergentes passíveis de responsabilização frente ao ciclo de vida de um produto nano parti-



culado se encerrar com o descarte ambiental. Muito embora, seja a panaceia do século com inúmeras soluções, a contrário senso, representa risco e incerteza.

Recentemente, a Comissão Europeia concluiu a revisão das categorias físico-químicas de nanomateriais estabelecidas em 2011 (NANODATABASE, 2021a), dispondo acerca da nova identidade que:

Nanomaterial significa material natural, incidental ou manufaturado que consiste em partículas sólidas que estão presentes isoladamente ou como partículas constituintes identificáveis em agregados ou agregados em que 50% ou mais das partículas na distribuição do tamanho do número cumprem uma das seguintes condições: a) uma ou mais dimensões externas da partícula estão na faixa de tamanho de 1nm a 100 nm; ou, b) a partícula tem uma forma alongada, como uma haste, fibra ou tubo, cujas dimensões externas não satisfazem o ponto 'a', mas, onde pelo menos uma dimensão externa é menor que 1 nm; ou, c) a partícula tem a forma de placa, cujas dimensões externas não satisfazem o ponto 'a', mas onde uma dimensão externa é menor que 1nm. Partículas com pelo menos duas dimensões externas ortogonais maiores que 100 micrômetros não devem ser contadas para o propósito da distribuição do tamanho do número. Um material com uma área superficial específica por volume de 5 m²/cm³ ou menos não deve ser considerado um nanomaterial. (NANODATABASE, 2021a).

As definições e diferenciações acima não importam para o resultado desta pesquisa, tendo em vista não dirimirem a busca pelos dados de probabilidade de danos emergentes ao meio ambiente, pois as nanopartículas de trato persistente, não biodegradáveis, já se sabe, esbarram na probabilidade de dano e de preocupação ambiental e com a saúde humana.

A questão ambiental, com muitas pesquisas ao redor do mundo, continua a reclamar mais atenção política agravada pelo cenário dis-



ruptivo tecnológico, sendo a nanotecnologia destaque nos impactos ambientais frente a dimensão de suas aplicações. Disso remanesce a importância do volume de pesquisas ambientais publicadas ao redor do mundo todo, tendo o Brasil ocupado a 2ª posição do ranking global, segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, conforme indicadores de 2020 (OCDE.AI, 2021).

Muito embora a nanotecnologia seja promissora por um lado; doutro tem-se que algumas propriedades podem causar toxicidade aos sistemas vivos tamanha a identidade celular, molecular e atômica, sendo, portanto, imprevisíveis os efeitos dessa aproximação do natural-vivo com a nanopartícula-tecnológica. Então, qual seria a razão de a tecnociência acrescentar risco sobre o risco em detrimento da vida segura para as presentes e futuras gerações? Que tipo de racionalidade se aplica no momento de decidir a respeito? Que tipo de norteammento político está por detrás dessa implicação? Por que razão princípios como de prevenção e de precaução são tão difíceis de serem considerados? Por que a pesquisa ambiental não ecoa na tomada de decisão? São perguntas que remanescem nesse ambiente e, mais uma vez, a pesquisa busca contribuir com a busca por solução.

Segundo Beck (2011a), estamos vivenciando a sociedade que assume o risco – que se dilui no tempo e de forma paulatina, daí a procrastinação em investimentos em certeza científica quanto à segurança de aplicações nanotecnológicas – sob a pecha do desenvolvimento necessário e acelerado dos países em desenvolvimento, como o Brasil, a emancipação à condição de desenvolvidos. Beck ainda explica que, “na modernidade tardia, a produção social de *riqueza* é acompanhada sistematicamente pela produção social de *riscos*” (2011a, p. 23). Isso significa que, ao lado dos “problemas e conflitos distributivos da sociedade da escassez sobrepõem-se os problemas e conflitos surgidos a partir da produção, definição e distribuição de riscos científico-tecnologicamente produzidos” (BECK, 2011a, p. 23).



Essa lógica permissiva e ao mesmo tempo contraditória acompanha o trato da tomada de decisão nanotecnológica quando, mesmo sem a certeza científica que mensure a probabilidade de evento danoso – que no caso das nanotecnologias é agravado diante da incerteza e desconhecimento agrava a condição jurídica –, emerge como solução para problemas de escassez do cotidiano e ocupa espaço de decisão política divorciada da ética da responsabilidade (PELLIN; ENGELMANN, 2021).

Para Galimberti, isso decorre da captura da política pela economia, que lhe retirou as bases elementares de decisão: “[...] oggi la politica non sembra essere più il luogo dela decisione, perchè, per decidere, deve guardare all’economia, e l’economia, a sua volta, per decidere i suoi investimenti guarda alle disponibilità e alle risorse tecnologiche (GALIMBERTI, 2012, p. 217).

De outro lado, Friedman (2007) considerou que, desde idos de 2000, o mundo passou da verticalização de comando e controle para a horizontalização de conectividade e colaboração, cujas mudanças não só afetaram como os negócios são feitos. Sobretudo, isso não acontece de uma só vez, sequer da noite para o dia, mas “ao longo do tempo, muitos papéis, hábitos, identidades políticas e práticas de gerenciamento com os quais nos acostumamos no mundo redondo terão que ser profundamente ajustadas à era do achatamento” (FRIEDMAN, 2007, p. 272). Trata-se, portanto, para ele, de um processo de reestruturação do próprio capitalismo que, ao citar Marx e sua obra *Manifesto Comunista* de 1848, já fazia menção “em seus textos sobre o capitalismo – a marcha inexorável da tecnologia e do capital rumo à remoção de toda e qualquer barreira, fronteira, atrito e restrição ao comércio global” (FRIEDMAN, 2007, p. 273), cujos implementos já estavam acontecendo, desde então, consolidando a marcha com o desfecho tecnológico doravante.

Já, para Pinto (1909-1987), a panaceia tecnológica comunicada ao homem tem o objetivo político de dominação acerca da inquietude



com as injustiças sociais atuais para que fique "convencido de que os defeitos do mundo presente resultam de imperfeições tecnológicas ainda não corrigidas pela ação da inteligência" (PINTO, 2005b, p. 689). E prossegue explicando que, assim, os problemas sociais baseados em uma realidade social de bases materiais "são transformadas em problema intelectual abstrato, científico, o da invasão de melhores técnicas" (PINTO, 2005b, p. 689).

Independentemente das perspectivas dos autores supracitados quanto aos problemas dos riscos, incertezas e tecnologia nos dias atuais se, de modernidade tardia; se, pela ausência de ética da responsabilidade; ou, ainda, se o sistema da política foi capturado pela economia; se, se trata de expansão global do capitalismo ou dominação social, fato é que o cenário que se desenha, hoje, para o futuro está permeado pela possibilidade emergente de eventos indesejáveis ao ecossistema vivo, quer por agressão, degradação, depósito, mutação, irreversibilidade, perdas e danos etc.

Para além dessas possibilidades, há outras que ameaçam a própria existência humana com tamanha disrupção/desvio/ruptura tecnológica, quais sejam, aquelas "das regras culturais, isto é, da prática técnica hereditária, é mortal para o indivíduo e para a comunidade" (2005 a, p. 65). Por isso que, ao tratar do fenômeno da tecnologia, há possibilidade de aumentar o universo de possibilidades de intervenção em rede midiática que, "visto da perspectiva da realidade social, isto significa tonar-se produtor, o sujeito da atividade econômica, no mais lato sentido da palavra" (PINTO, 2005a, p. 63). Ou seja, a apropriação social do máximo possível de todo desenvolvimento tecnológico mediante plataformas de intervenção democrática. Isso significa avocar a responsabilidade compartilhada com a comunicação de padrões culturais que salvaguardem a tomada de decisão sustentável.

Emerge, conseqüentemente, a reivindicação pela validação cultural, não só política, econômica ou jurídica do princípio da precaução, mas,



sim, de cidadania pragmática, de empoderamento horizontal sobre as zonas de colaboração e controle em rede "porque a pesquisa científica atual sugere que a exposição a alguns nanomateriais, nano-aparelhos ou produtos derivados da nanobiotecnologia podem causar danos à saúde e ao meio ambiente" (NANOACTION, 2007, p. 04). E isso importa a toda sociedade se apropriar. Tirar da natureza privada e transportar para a natureza pública.

Segundo Pellin e Engelmann, precaução e prevenção são categorias diferentes de cautela. Para os autores, "a prevenção trata do risco, a partir de dados conhecidos, científica e economicamente. A precaução não" (2018, p. 140). Prosseguem explicando que a precaução deve ser levada em conta quando "há dúvida científica acerca do impacto do desenvolvimento, tanto para produtos quanto para pessoas ou meio ambiente" (2018, p. 140). Sustentam que se trata de "disputa pela racionalidade, limitada como razão de governar as decisões corporativas quanto à disponibilidade social de suportar os riscos nanotecnológicos" (PELLIN; ENGELMANN, 2018, p. 140). E, na expressão de Beck, essa "racionalidade científica sem a racionalidade social fica *vazia*, racionalidade social sem racionalidade científica, *cega*. (BECK, 2011a, p. 36)

Mesmo assim, a sociedade de risco aumenta o volume de investimentos em planejamento, desenvolvimento e aplicações industriais em produtos de toda ordem de coisas com riscos, deixando à margem desse processo a sociedade, reduzida à consumidora de produtos tecnológicos como política nacional de qualidade de vida e bem-estar (BRASIL, 2010). Isso resulta, para Beck, na demonstração de que o homem se divorciou de Deus; uma ruptura com o criador que eivou a humanidade ao ópio da tecnologia: "*quando il rischio entre nell'ordine del giorno, Dio fu costretto ad abbandonare la sua posizione di guida del mondo, con tutte le conseguenze eversive che questo comportava*" (BECK, 2011b, p. 10).

Entretanto, em se tratando de nanotecnologia, o uso como insumo e o consumo como produto já são realidades. As nanotecnologias vêm



acompanhadas de promessas de longo alcance, a exemplo de avanços na medicina, na redução dos impactos ambientais, no desenvolvimento de novas aplicações tecnológicas, na melhoria da performance de insumos e produtos etc. compondo o arsenal tecnológico da Quarta Revolução Industrial (SCHWAB, 2016; SCHWAB; DAVIS, 2018) para melhor produtividade e promoção da qualidade de vida.

Segundo o banco de dados de produtos de base Nanotecnológica do *StatNano* (2021), 9.195 produtos com nanomateriais estão sendo produzidos por 2.633 empresas distribuídas entre 64 países, incluindo, no indicador, o Brasil. Estão distribuídos conforme a tabela que impressiona pela coletânea de produtos, volume e aplicações nanotecnológicas nas mais diversas áreas de insumos destinados à indústria e produtos ao consumo, sem que os cidadãos consumidores saibam disso:

**Tabela 2 Relação de Produtos, Empresas e Países na produção e aplicação nanotecnológica**

SETOR	PRODUTOS	EMPRESAS	PAÍSES
Agricultura	232	75	26
Construção	889	396	41
Eletrônicos	1933	108	19
Comida	357	142	26
Medicamento	1121	412	44
Petróleo	293	121	27
Energias Renováveis	298	145	28
Têxtil	807	490	42
Esportes e Fitness	150	43	23
Impressão	154	67	19
Outras	520	255	36
Eletrodoméstico	334	133	25
Meio Ambiente	560	247	34
Cosméticos	889	267	30
Automotivo	658	200	38

Fonte: Elaborado pela autora.

Mas, se for possível diagnosticar um marco zero sobre a responsabilidade nesse sistema paradoxal, pode-se adotar o momento da tomada de decisão, sobretudo, de quais elementares e ou variáveis são eleitas para interferirem e ou gravitarem como padrões de orientações no momento da escolha – sim ou não –, pela magia do desenvolvimento nanotecnológico. Para a consecução do empreendimento nanotecnológico, significa levar em conta, não como variável, mas como elementar, o princípio de precaução junto com o cálculo do empreendimento econômico, ínsito à predição, motivação e incentivos para o desenvolvi-



mento tecnológico, capaz de alterar a tomada de decisão e, portanto, os resultados.

É do Caderno de *Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais*, publicado pelo *NanoAction* (2007), iniciativa global da *International Center for Technology Assessment*, a constatação, dentre outras tantas informações, da necessidade de implicar o princípio da precaução no trato nanotecnológico dispondo que “uma abordagem de precaução exige a existência de mecanismos de supervisão nanoespecíficos obrigatórios que considerem as características típicas dos materiais” (NANOACTION, 2007, p. 03) e, diante de alguma ameaça à saúde humana ou ao meio ambiente, “medidas de precaução devem ser tomadas, inclusive, quando as relações de causa e efeito não são totalmente estabelecidas de maneira científica” (MARTINS, 2016, p. 122).

Segundo Berwig, essa “precaução é tida como comando necessário a ser evocado diante das incertezas científicas. O foco assim deve ser voltado a atribuir o ônus da proteção aos responsáveis pelas atividades potencialmente nocivas [...]” (2019, p. 304). E prossegue dizendo que, no caso das nanotecnologias, “as pesquisas sugerem que a exposição a pelo menos algumas nanopartículas podem causar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente” (BERWIG, 2019, p. 304).

A categorização técnico-analítica das nanopartículas biodegradáveis e biopersistentes já é presente nos quadros da *International Standard Organization* (Normas ISO) através do Comitê Técnico ISO TC 229 de 2017 (MARTINS, 2016) e, aqui, no Brasil, através da internalização de normas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo que o problema não está só na catalogação de categorias físico-químicas das nanopartículas, mas nas implicações decorrentes do seu desenvolvimento, aplicação e descarte com potencialidades lesivas à saúde humana e ambiental sem a produção do conhecimento, mas em um regime científico de risco e incerteza. Portanto, a proposta deve ir além no trato da precaução!



Para além do catálogo, já se tem tratada a gestão dos riscos a partir das Normas ISO (MARTINS, 2016) de forma global, para salvaguardar, por *standards*, ambiente de trabalho e laboratório, o que significa "*desarrollar nanotecnologia en el contexto de las economias internacionales há generado debates alrededor de sus posibles regulaciones y organización, es decir, alrededor de frameworks de gobernanza*" (VEJA-BAUDRIT; NUÑEZ-CORRALES, 2016, p. 47). Mas, para além da governança que vem sendo implantada como cultura organizacional no cenário global, esses padrões que se pretende alcançar com as normas ISO não só padronizam comportamentos responsáveis, mas, sobretudo, informam o destinatário do desenvolvimento acerca dos riscos e dos benefícios, mas não lidam com a atividade precaucionada, tão somente preventiva. Veja-se:

Se prioriza como um gran objetivo garantizar acceso al conocimiento de forma abierta a nivel internacional, llevar a tono a los países emergentes hasta alcanzar una competencia científica mínima que facilite la implementación de estándares globales y sobre todo, un imperativo ético de difundir los beneficios y conocer rigurosamente los riesgos derivados del desarrollo de nanoproductos. (VEJA-BAUDRIT; NUÑEZ-CORRALES, 2016, p. 47).

A exemplo do perigo que se está a considerar, na Espanha foi veiculada notícia de que pesquisadores do *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* diagnosticaram concentrações consideráveis de nanotóxicos de fulerenos, caracterizados por moléculas esféricas capazes de transportar substâncias perigosas nas águas residuais da Catalunha atingindo toda a Espanha. A notícia veiculou que foram coletados 19.100 nanogramas de fulerenos C60 por litro, no Rio Sabadell, e 14.400 nanogramas no Rio Besós, sendo que ambos desaguam no Mar Mediterrâneo (ANSEDE, 2009).

Já, o *Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales* de Barcelona explicou que alguns contaminantes persistentes como policlorobi-



fenilos e as dioxinas, podem introduzir-se nessas minúsculas cápsulas de fulereno esféricas alcançando estabilidade pelo encapsulamento e passam a servir de veículo blindado ao transporte dessas propriedades mais tóxicas por todo o percurso fluvial atingindo a produção agrícola (ANSEDE, 2009).

Os fulerenos são adotados pelas indústrias como um dos materiais sintetizadores mais promissores da história da ciência, os quais são aplicados na fabricação de cremes solares, fármacos, aparatos eletrônicos, peças automotivas e confecções de calçados mesmo sem estudos de impacto ambiental. Constituem uma classe de nanomoléculas esferoidais estáveis formadas exclusivamente por átomos de carbono. Ao contrário das outras formas alotrópicas de carbono, como grafite, diamante e nanotubos, os fulerenos são uma forma molecular de carbono (SANTOS, Leandro José dos *et al.*, 2010) com potencialidades altamente lesivas.

Esse mesmo cenário espanhol se repete em outra investigação realizada pelo *Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua* que encontrou em outro rio, Llobregat, quantidades excessivas de nanopartículas advindas de resíduos gerados pelo entorno do Aeroporto El Prat. (ANSEDE, 2009). E, quanto à probabilidade de danos ambientais e à saúde humana, afirmou, à época, a pesquisadora Marinella Farrè, do respectivo instituto, que:

[...] es complicado establecer si los niveles hallados em los ríos catalanases son o no elevados. Para ello, los investigadores han comparado con las aguas de regiones menos industrializadas, como las de Manresa, y han llegado a la conclusión de que, efetiamente, las concentraciones de estas nanopartículas son 'bastante elevadas.' (ANSEDE, 2009).

Muito embora essa fotografia espanhola não seja a brasileira, a probabilidade deste cenário estar se repetindo neste exato momento da



pesquisa induz concluir que os mesmos impactos estão ocorrendo em qualquer lugar do mundo envolvido com esse desenvolvimento, aplicação e descarte, gerando impactos à saúde humana e ambiental imprevisíveis, justamente pelo tamanho que invade a esfera mais íntima da vida celular viva.

Recentemente, o NanoDataBase (2021b) publicou relato de cientistas da *Swansea University*, sobre a descoberta de poluentes potencialmente perigosos, incluindo cobre, que estão sendo liberados dentro das fibras plásticas e de silicone de máscaras faciais descartáveis comuns, quando submersas em água, ou seja, descartadas. O líder do projeto de pesquisa, Dr. Sarper Sarp, mencionou que, muito além da necessidade do uso da máscara para conter a pandemia, reside o problema de impactos ambientais e à saúde humana diante dos resultados que revelaram níveis significativos de poluentes em todas as máscaras testadas, com nanopartículas e metais pesados liberados na água durante os testes. Como conclusão, salientou que o impacto ambiental será substancial e emergirá a questão de danos à saúde pública, onde a exposição repetida pode ser perigosa diante de as substâncias terem ligações com a morte celular, genotoxicidade e formação do câncer.

A Organização das Nações Unidas, vem considerando, desde idos de 2000, os benefícios do desenvolvimento em nanotecnologias sem ignorar os riscos e as incertezas considerados a partir de uma abordagem equilibrada para aplicar nanotecnologia na água, por exemplo, tendo em vista os riscos associados com a toxicologia e os impactos sobre o homem e o meio ambiente. Além disso, considerou que, nesse ambiente de incertezas, os debates devem estar voltados para questões éticas, cujo envolvimento comunitário na decisão sobre a aplicação da tecnologia às necessidades locais devem ser alvo de discussão, a fim de garantir água limpa em países em desenvolvimento (GUEVANE, 2013), por exemplo. Por esses dias da pesquisa, a Agência Europeia de Segurança Alimentar publicou parecer sobre o dióxido de titânio (E 171),



outro componente nanoparticulado, ao descobrir que ele não era mais considerado seguro, em parte, em razão de os pesquisadores não serem capazes de excluir a genotoxicidade do componente nanoparticulado.

Não é novidade que o trato ambiental é assunto que remonta a déficit global de regulação e retrocesso normativo (CARVALHO, 2015), ameaçando o planeta de catástrofes naturais irreversíveis e que ameçam a existência de todo agente biológico vivo.

O princípio da precaução já foi discutido em outra oportunidade na tentativa de fazê-lo sair da retórica que o maneja por conveniência e oportunidade política e econômica, nacional e global, cujo resultado não está em conformidade com o discurso. Já foi proposto que o princípio da precaução fosse compreendido e aplicado com recorte semântico na busca por melhor e mais adequada interpretação que se aproximasse da pragmática sistêmica e uniformização, separando o que seria o princípio do que seria a precaução, da seguinte forma:

Pero ello, la búsqueda será romper el principio de precaución en dos interpretaciones de significado: la primera parte es el principio y la política y la toma de decisiones, entenderse como ético que impregna los conformeros principios constitucionales de la sociedad en su conjunto; la segunda parte, la precaución, que será dirigida por el tamiz de la ciencia natural y económica para, por lo tanto, el deber de transparencia, se crea los datos para la asunción de parámetros o repulsión a los riesgos, especialmente la medición del costo posible del beneficio económico. (PELLIN; ENGELMANN, 2017, p. 10).

Não obstante, uma decisão tomada a partir da precaução deveria pressupor, por exemplo, que: "a) se identifiquem os efeitos potencialmente perigosos decorrentes de um fenômeno, de um produto ou de um processo; b) haja uma avaliação científica dos riscos que, devido à insuficiência dos dados, não podem ser determinados com suficiente segurança" (CARVALHO, 2013, p. 78-79).



Portanto, diante do problema da ausência de certeza científica e da insuficiência de dados técnicos acerca da probabilidade e dimensão de evento danoso que oriente a aplicação pragmática do princípio da precaução, mister que a política da precaução e a precaução com a política sejam retomados na perspectiva da hipótese da pesquisa, segundo a produção dos dados em rede pela sociedade informacional, cujo controle em regime de colaboração e horizontalidade seja realizado pelo infovíduo da cidadania digital. É o que a pesquisa passa a considerar como resposta ao problema.

3 RESOLVENDO A PRECAUÇÃO NANOTECNOLÓGICA COM O MUNDO DADO

A fim de consolidar a hipótese, mister compreender a extensão, profundidade e largura do contexto em que a solução se apresenta, já que a linha do tempo mostra que o princípio da precaução ambiental pode ser resolvido a partir de um mundo em transformação por dados cuja gestão de todos os processos sociais decorrem ou decorrerão da cidadania digital exercitada pelo infovíduo, assim considerado como a "complexa rede de interações que habitamos e que compõem nossa pessoa plural" (DI FELICE, 2020, p. 88). Trata-se o infovíduo, para melhor compreensão, do todo "indissociável da pessoa física e da digital, a primeira orgânica, e a segunda composta pelo conjunto de dados on-line e pelos perfis digitais" (DI FELICE, 2020, p. 86) representado pelos cidadãos digitais que vivem na Sociedade da Informação; que tem o Brasil como parte, desde 2000, com a publicação do Livro Verde (TAKAHASHI, 2000).

O impacto dessa publicação pelo Ministério de Ciência e Tecnologia foi a inclusão do Brasil na Globalização econômica, cultural e tecnológica que, segundo Lisboa, vem sendo implantada desde os idos de 1960, quando da fabricação dos primeiros computadores que modifi-



caram o cenário global com as seguintes transformações: a) a transnacionalização e o surgimento dos blocos econômicos; b) o e-commerce; c) a economicidade da informação; d) a formação de banco de dados; e) a transferência eletrônica de dados; e, f) o estabelecimento de normas comunitárias (LISBOA, 2020).

Essa Sociedade da Informação (LISBOA, 2020; MATTELART, 2001) tem natureza de projeto socioeconômico para a implantação de um outro tipo de sociedade, a global em rede de comunicação, com um outro tipo de cultura social, a informacional. Essa Sociedade, também acunhada de Sociedade do Conhecimento, descrita por Lisboa, pode ser categorizada como...

[..] expressão utilizada para identificar o período histórico a partir da preponderância da informação sobre os meios de produção e a distribuição dos bens na sociedade, que se estabeleceu a partir da vulgarização das programações de dados utilizados pelos meios de comunicação existentes e dos dados obtidos sobre uma pessoa e/ou objeto, para a realização de atos e negócios jurídicos. (LISBOA 2020, p. 10).

A afirmação de que o Livro Verde trata de um modelo de sociedade diferente da arraigada no processo histórico da humanidade decorre do seu próprio conteúdo ao elencar um conjunto de ações para a sua consecução, a começar pelos desafios que a Sociedade e o Governo precisariam enfrentar para concretizar metas, dentre elas: infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação (TICs), viabilidade de Internet para todos no país; Infraestrutura de Informação, Educação para a Cidadania; instituição do Comércio Eletrônico; investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento; a cultura da Nova Economia e mudança da Política Nacional.

De lá para cá, o país vem passando por transformações significativas nas estruturas do sistema nacional em toda a sua complexidade,



inclusive, com investimentos em todas as metas que compõem a agenda; basta verificar as páginas de acessos às organizações, às instituições políticas e os fomentos governamentais, bem como as modificações jurídicas, sobremaneira, na cultura organizacional das atividades jurídicas, econômicas, políticas e culturais, desde 2000.

Na perspectiva teórica de Luhmann (2010), poderia-se afirmar que se está diante da desconstrução/destruição do sistema histórico da humanidade enquanto organização social, para o soerguimento de um outro sistema, o social-informacional; disruptivo (SCHWAB, 2016; SCHWAB; DAVIS, 2018), compreendido como a interrupção do processo histórico antropológico; destruídas as suas bases, estruturas e funcionamento.

Não se trata de incremento do que já estava consolidado; não se trata de evolução da humanidade; se trata do diferente, do novo; desconectado do processo anterior; trata-se do *novo normal*, do *reset* sistêmico; outras relações de interdependência entre o todo social e seus subsistemas, horizontalizada pela informação, comunicação e conhecimento em rede midiática. Uma crise de civilização, segundo Mattelart (2001), agravada pela pandemia de coronavírus, que acabou alavancando o processo forçoso de migração da maior parte da população e produtividade econômica e cultural para o sistema em rede, território da Sociedade da Informação, que contém em si mesma, enquanto sociedade, a economia estruturada a partir da Quarta Revolução Industrial e o seu funcionamento através da Nova Economia: e-commerce, *big data*, IoT, Inteligência Artificial, Biotecnologias, Impressão Multidimensional, Robótica, *Machine Learning*, neurotecnologias, realidade virtual e aumentada, tecnologias espaciais (TAKAHASHI, 2000; SCHWAB; DAVIS, 2018).

Nesse sentido, um dos impactos fundamentais da implementação desse projeto de mudança sobre as estruturas sociais nos domínios da atividade e da experiência humana reside na ação do sujeito político



que tende a "se tornar global, mais difusa e menos abertamente autoritária, buscando reduzir o conflito social através de uma participação dependente daqueles submetidos aos aparelhos de decisão econômica e política" (MATTELART, 2001, p. 15). Sobremaneira, "as sobreposições, confusões e equivalências entre informação, conhecimento, cultura e comunicação serão recorrentes" (MATTELART, 2001, p. 22); motivadas ao empoderamento através da organização midiática de manifestações coletivas, dentre elas, a proteção ambiental e alertas para os malefícios tecnológicos.

E, por causa desse impacto sobre o sujeito político que, "como tendência histórica, as funções e os processos dominantes na era da informação estão cada vez mais organizados em torno de redes" (CASTELLS, 1999, p. 565). Essa organização em rede constitui "a nova morfologia social de nossas sociedades e a difusão da lógica das redes modifica de forma substancial a operação e os resultados dos processos produtivos e da experiência, poder e cultura" (CASTELLS, 1999, p. 565), instrumentalizados a partir das tecnologias da informação e das garantias individuais e fundamentais, bem como dos direitos civis e sociais, o que torna esse processo disruptivo, também, para o sujeito psicossocial humano, capacitando-o a novas competências e habilidades e, dentre elas, a de ser agente de intervenção nos processos de tomada de decisão usando a rede midiática e a rede de dados.

Nesse sistema disruptivo, o meio ambiente ocupa posição de destaque por ser bem jurídico e politicamente tutelado pela Globalização, pela Constituição Federal de 1988, pela proteção dos Direitos Humanos e pela Agenda 2030, recaindo sobre as novas tecnologias o dever de proteger, não danificar e de fazer-se recuperar na busca pela qualidade do ecossistema vivo; devem representar solução e proteção, não agressão e violência à sustentabilidade. Por isso, "essa lógica de redes gera uma determinação social em nível mais alto que a dos interesses sociais específicos expressos por meio das redes: o poder do fluxo é mais im-



portante que o fluxo de poder" (CASTELLS, 1999, p. 565). A consequência é a apropriação da morfologia social sobre a ação social nessa sociedade em rede, ou seja, o exercício da cidadania digital algorítmica que tem impacto de legitimação de poder jurídico e, conseqüentemente, sobre a tomada de decisão pela maioria, ou seja, "atualmente, nell'ambito di una comunità il potere viene legittimato dal *consenso*, liberamente espresso, *da parte dela maggioranza di coloro che fanno parte di questa comunità*". (ITALIA, 2003, p. 26).

É da cidadania digital algorítmica o poder de preencher a lacuna global que há no princípio da precaução que o impede de fazer valer no controle dos parâmetros de tomada de decisão nanotecnológica frente às incertezas e riscos. Hoje, não é só a atividade científica que produz informações e conhecimentos válidos. Há um Mundo Dado (ACCOTO, 2020). Isso significa que as florestas, os rios, os ecossistemas e o clima ganham espaços de interatividade em um ecossistema de inteligência ao se transformarem em dados dentro da rede de informações que, mediante processos dinâmicos e sistemas de autoaprendizagens a partir de *inputs/outputs* são capazes de gerar respostas, mais dados, mais interatividade e mais informação transformativa, retroalimentando um ecossistema artificial de funcionamento capaz de fornecer subsídios em razão de "nossas sociedades conectadas, tudo se tornou mensurável e quantificável". (DI FELICE, 2020, p. 92).

Na perspectiva do Mundo Dado de Accoto, há duas dimensões de realidade: a primeira, do mundo como realidade dada; entidade fechada; a segunda, como o mundo-dado, como entidade quantificada, feito de e a partir de dados (2020, p. 22).

Nesse ecossistema informacional onde os atores humanos e os não-humanos, orgânicos ou inorgânicos, estão algoritmizados no Mundo Dado, "as florestas, o clima, os rios, por meio de sensores e das tecnologias de conexão, começaram a se comunicar e a interagir conosco, expandindo nossa concepção ecológica (DI FELICE, 2020, p. 126) e, por



isso, "as formas automatizadas de cálculo digital substituíram, assim, as estatísticas e a produção humana de dados, dando à informação numérica uma nova dimensão política, capaz de desenvolver novas funções" (DI FELICE, 2020, p. 92) e, portanto, hábeis ao preenchimento do princípio da precaução nanotecnológica mediante diversas informações acessíveis na rede, sobretudo, produzidas por outros atores sociais que não as instituições e organizações.

A exemplo do que se está a considerar como hipótese e como amostragem da tendência da Mãe Natureza em um Mundo Dado, recentemente, o Conselho Nacional de Justiça (CNJ) lançou o sistema SireneJud (CNJ, 2021) como resposta ao artigo 225, da Constituição da República, aos Objetivos 13 e 15 do Desenvolvimento Sustentável da Agenda de 2030 e meta 12 do CNJ; também como resposta ao relatório da Justiça e Proteção Socioambiental na Amazônia Brasileira comprometido com a Delegação da União Europeia no Brasil e, por fim, como resposta ao Acordo de Paris. Além do que, havia se comprometido com o desenvolvimento de metodologia de controle e combate às infrações ambientais de desmatamento e degradação.

Trata-se de um painel interativo nacional de dados ambiental e interinstitucional. É uma base integrada de dados abertos sobre Florestas Públicas e Terras Indígenas que teve como base pesquisas realizadas pelo Laboratório de Inovação, Inteligência e ODS (LIODS) sob a coordenação da Comissão Permanente da Agenda 2030 do CNJ sobre as Florestas Públicas brasileiras cadastradas no Serviço Florestal Brasileiro. Esse sistema SireneJud pretende ser um polo de integração de dados que permita o monitoramento estratégico do uso da terra.

É possível por meio do banco de dados gerar mapas e relatórios estatísticos que possibilitarão, aos órgãos do Poder Judiciário e ao Ministério Público, obterem a noção real do tamanho e de onde acontecem as violações ambientais no país discutidas em ações judiciais ou objeto de Termos de Ajustamento de Conduta (TAC).



No sentido da pesquisa, o sistema SireneJud deve compor arsenal de dados públicos e de acesso e participação ativa por outras entidades orgânicas, a exemplo de organizações e instituições, e inorgânicas, a exemplo dos dados em constante processo de interação com outras bases de dados, compondo um sistema de comunicação e informação único que retroalimente outros dados passíveis de serem colacionados à precaução; dados provenientes do ambiente da cidadania digital organizados pela rede de infovíduo interessada na participação democrática e horizontalizada acerca da verificação da precaução ambiental. É, portanto, a exemplo dessa iniciativa da base de dados que se pode extrair e organizar as informações de perigo em se tratando de nanotecnologias.

Esse processo de construção social participativa (MATTELART, 2009) através de *big data*, inteligência artificial e internet das coisas na Sociedade da Informação compõe o arsenal informacional que faz funcionar o direito subjetivo de fazer valer aspectos dos Direitos Humanos do infovíduo que os deve exercer no ambiente da cidadania digital com o objetivo de materializar a participação ativa na vida social e na tomada de decisão, quiçá, nanotecnológica, levando em conta os dados da rede para lidar com a precaução e a transformação da sociedade.

Para consolidar esse raciocínio, na compreensão de Mattelart, "não pode haver uma sociedade do conhecimento diversificado sem um questionamento das relações entre saber e poder e, portanto, do *status* a ser ocupado por todos os produtores de conhecimento" (2009, p. 33). Isso se sustenta porque se está diante do bem comum que se opõe à privatização das nanotecnologias enquanto possíveis daninhas ao patrimônio comum ambiental. Por esse princípio do bem comum motivadas estão as "mobilizações sociais não apenas em torno da comunicação e do conhecimento, mas da saúde, de vida, do meio ambiente, da água, do *software* e de espectro da radiodifusão" (MATTELART, 2009, p. 44).

Para todo esse exercício, então, não basta a transparência com a divulgação de dados públicos e da igualdade de acesso informacional,



a exemplo da iniciativa do CNJ com o Projeto SireneJud restringindo a proteção ambiental ao próprio órgão e ao Ministério Público, há necessidade de ir além; um salto qualitativo na inclusão-participação cidadã no conhecimento e na gestão do risco e incerteza de danos ambientais para a tomada de decisão responsável e compartilhada dentro das organizações, públicas ou privadas, dada a importância que o tema da precaução reclama e o bem comum ambiental tutelado.

Afirma Mattelart que, "se não pode haver políticas de Comunicação sem políticas culturais, não pode haver, tampouco, mais políticas de comunicação e de cultura sem políticas de conhecimento" (2009, p. 41). Prossegue esse autor sustentando que esse "novo regime de valorização do capital dos produtos do espírito, como são a cultura, a comunicação, a informação e o conhecimento, na verdade, abriu um novo campo de lutas culturais, sociais e econômicas, tudo ao mesmo tempo" (2009, p. 41), a exemplo do que se está a considerar.

A exemplo de ir além para o preenchimento do princípio da precaução pelo infóvduo e o exercício da cidadania digital na Sociedade da Informação para o controle dos malefícios nanotecnológicos, tem-se a iniciativa na Dinamarca envolvendo o *Danish Consumer Council*, *Danish Ecological Council* em cooperação com o *Danish Ministry of Environment Protection Agency* e da *Technical University of Denmark* ao desenvolveram plataforma de banco de dados chamado NanoDataBase, que auxilia, em regime de cooperação e colaboração, os consumidores na identificação de mais de 1.200 produtos nanoparticulados, com informações, catalogação e aferição metodológica de risco chamada de NanoRiskCat (HANSEN *et. al*, 2011).

Tal metodologia foi desenvolvida para apontar, na catalogação de identidades das nanopartículas, aquelas que oferecem probabilidade de danos à saúde humana e ambiental. É composta de quatro categorias informacionais de segurança, sendo que a vermelha representa a probabilidade de toxicidade; a amarela de média probabilidade de toxicida-



de; e a verde de nenhuma toxicidade humana ou ambiental, representadas pela figura abaixo:

Figura 1 Metodologia do NanoRiskCat

Exposure			Effects	
Professional	Consumers	Environment	Human	Environment

Fonte: NanoDataBase (s.d.).

A referência do código de cores atribuído aos riscos humanos associados à nanoforma de um determinado material é baseada principalmente na opinião de especialistas científicos somada à avaliação holística das evidências de mutagenicidade, carcinogenicidade, toxicidade respiratória etc., sendo que a literatura científica varia, assim como a conclusão alcançada e o código de cores do perigo humano atribuído ao nanomaterial (NANODATABASE, s.d.). Com essa metodologia construída a partir da listagem de nanomateriais, é possível o preenchimento adequado do princípio da precaução para além da política de ocasião ou da ética da responsabilidade. Neste banco de dados, as nanotecnologias estão no Mundo Dado e, portanto, apropriadas pela rede do infóvídúo. Isso possibilita a tomada de decisão sobre risco porque foi retirada a incerteza e trazida a probabilidade.

Esse é um exemplo de sucesso que serve de espelho para outras iniciativas no setor. Contudo, há resistência a essa abertura. Historicamente, em países de modernidade tardia (*sic*) se prestigia mais a instrumentalidade das formas do que a pragmática sistêmica mantendo a ponte que separa a sociedade do poder legitimado, muito embora, tudo se faça e se prometa em nome dessa mesma sociedade.



Entre a Sociedade Orgânica e a Sociedade Informacional ainda há muito a aproximar. A pandemia acelerou o processo. Há resistência em fundir-se ao infovíduo, sobretudo, reconhecer o seu papel na mediação pública entre o Estado e o Mercado. Este percurso se apresenta como uma resposta adequada. Ainda que já venha acontecendo sob orientação global, no Brasil, há atraso nessa fusão entre o Mundo Natural e o Mundo Dado do infovíduo, impedindo o total empoderamento na rede de cidadania digital que vai além da rede midiática para a rede complexa de informações e dados disponíveis para a produção do conhecimento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É chegado o momento de responder à pergunta de investigação inicial: em que condição o princípio da precaução nanotecnológica poderia ser preenchido para a preservação ambiental, atualmente?

Diante de todo o percurso da pesquisa, a mãe natureza pode ser melhor protegida pelo sistema do Mundo Dado cujo território e governo se estrutura em rede das redes e se retroalimenta de dados; informações capazes de gerar conhecimento em rede de cidadania digital, cujo funcionamento decorre da atividade e intervenção do infovíduo. Com isso, o vazio científico (risco e incerteza) sobre a informação nanotecnológica pode ser suprido pelos dados disponíveis da rede complexa de interações à produção do conhecimento acerca do risco e da probabilidade e, portanto, informar ao princípio da precaução dados que contribuam com a tomada de decisão nanotecnológica para além dos – poucos ou nenhum – dados institucionais. Para isso, o princípio da precaução nanotecnológica deve ser compreendido como bem comum e, portanto, possuir natureza de Direito Humano desapropriando a tomada de decisão pela iniciativa privada, diante do impacto sobre o todo social e ambiental.



Muito embora tudo se nos pareça novo, a bem da verdade, é, ciclicamente, na razão de tempo e espaço, repetido sob outras roupagens. O que há de diferente, então, nessa nova roupagem, é a ferramenta para o incremento da arquitetura: as novas tecnologias em rede das redes, que têm, como cenário preditivo, o empoderamento absoluto e não marginalizado.

REFERÊNCIAS

ACCOTO, Cosimo. **O Mundo Dado**: cinco breves lições de filosofia digital. (Trad. Eliete da Silva Pereira). São Paulo: Paulus, 2020.

ANSEDE, Manuel. **Los ‘nanotóxicos’ colonizan los ríos españoles**. *In*: Público, 28/01/2009. Disponível em: <https://especiales.publico.es/hemeroteca/194948/los-nanotoxicos-colonizan-los-rios-espanoles>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BECK, Ulrich. **Conditio Humana**: il rischio nell’ettà globale. (Trad. Carlo Sandrelli). Itália: Editori Laterza, 2011b.

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. 2ª ed. (Trad. Sebastião Nascimento). São Paulo: Editora 34, 2011a.

BERWIG, Juliane Altman. **A gestão dos riscos ambientais da nanotecnologia a partir de estudo de um caso**: a elaboração de framework com fundamento no sistema do direito ambiental brasileiro. 2019. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Rio Grande do Sul, São Leopoldo, 2019. Defesa 01/03/2019. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7791>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. **Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação/Comitê Geral de Estudos Estratégicos



gicos, 2010. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/677>. Acesso em: 25 jun. 2021.

CARVALHO, Delton Winter de. **Desastres ambientais e sua regulação jurídica**: deveres de prevenção, resposta e compensação ambiental. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2015.

CASTELLS, Manuel. **A Sociedade em Rede**: a era da informação: economia, sociedade e cultura. Vol. I. (Trad. Roseneide Venâncio Majer). São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). **SireneJud**. 2021. Disponível em: <https://www.cnj.jus.br/programas-e-acoas/agenda-2030/liods-cnj-laboratorio-de-inovacao-inteligenica-e-ods/sirenejud/>. Acesso em: 23 jun. 2021.

DI FELICE, Massimo. **A cidadania digital**: a crise da ideia ocidental de democracia e a participação nas redes digitais. São Paulo: Paulus, 2020.

FRIEDMAN, Thomas L. **O Mundo é Plano**: uma breve história do Século XXI. (Trad. Cristiana Serra, Sérgio Duarte, Bruno Casotti). Rio de Janeiro: Objetiva, 2007.

GALIMBERTI, Humberto. **I miti del nostro tempo**. Milano: Feltrinelli, 2012.

GUEVANE, Eleutério. **ONU avalia possível uso de nanotecnologia para purificar e tratar água**. In: ONU News: perspectiva global reportagens humanas. Nova Iorque: Rádio ONU, 01/06/2013. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2013/06/1439741-onu-avalia-possivel-uso-de-nanotecnologia-para-purificar-e-tratar-agua>. Acesso em: 23 jun. 2021.

HANSEN, Steffen Fon; ALSTRUP-JENSEN, Keld. **NanoRiskCat**: a conceptual decision support tool for nanomaterial. Denmark: Danish Ministry of Environment: Environmental Protection Agen-



cy, 2011. Disponível em: <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2011/12/978-87-92779-11-3.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ITALIA, Vittorio. **Cosa è il Diritto?** elementi di base per comprenderlo. Milano: Giuffrè, 2003.

LISBOA, Roberto Senise. **O Direito na Sociedade da Informação.** 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341219107_DIREITO_NA_SOCIEDADE_DA_INFORMACAO. Acesso em: 23 jun. 2021.

LUHMANN, Niklas. **Introdução à Teoria dos Sistemas:** aulas publicadas por Javier Nabarrete. (Trad. A. C. Nasser). Rio de Janeiro: Petrópolis, Vozes, 2010.

MARTINS, Patrícia Santos. **O sistema de Normas ISO e as nanotecnologias:** as interfaces regulatórias e o diálogo entre as fontes do Direito. 2016 (Dissertação em Direito). Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Rio Grande do Sul, São Leopoldo, 2016. Defesa 21/12/2016. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6206> Acessado em 10/06/2021. Acesso em: 23 jun. 2021.

MARTIOLI, Andreza Copatto Serra; PINHEIRO, Fabriciano. Nanotecnologia: uma breve discussão sobre os impactos da nanotecnologia à saúde humana e ao meio ambiente. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, ano 2, n. 8, outubro-dezembro 2015. Disponível em: https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Edicao_08_Andrezza_Martioli.pdf . Acesso em: 07 jun. 2021.

MATTELART, Armand. A construção social do direito à Comunicação como parte integrante dos Direitos Humanos. **Intercon – Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, São Paulo, v. 32, n. 1, janeiro-junho, p. 33-49, 2009.



MATTELART, Armand. A era da informação: gênese de uma denominação descontrolada. **Revista FAMECOS**, Porto Alegre, n. 15, agosto, 2001.

NANOACTION. **Princípios para a Supervisão de Nanotecnologias e Nanomateriais**, 2007. Disponível em: https://issuu.com/agbergef/docs/princ_pios_para_supervis_o_de_nan_177af24ffbe26a Acessado em 07/06/2021. Acesso em: 07 jun. 2021.

NANODATABASE. **Introdução ao NanoRiskCat**. (s.d). Disponível em: <https://nanodb.dk/en/nanoriskcat/> . Acesso em: 24 jun. 2021.

NANODATABASE. **Nanoplásticos encontrados em máscaras descartáveis**. 2021b. Disponível em: <https://nanodb.dk/en/news/nanoplastics-found-within-disposable-face-masks/>. Acesso em: 24 jun. 2021.

NANODATABASE. **Nova definição do termo nanomaterial para consulta às partes interessadas**. 2021a. Disponível em: <https://nanodb.dk/en/news/new-definition-of-the-term-nanomaterial-out-for-stakeholder-consultation/>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE.AI). **Visualizations Powered by JSI using data from MAG**, version of 15/03/2021. Disponível em: www.oecd.ai. Acesso em: 16 jun. 2021.

PELLIN, Daniela; ENGELMANN, Wilson. A governamentalidade aplicada aos empreendimentos econômicos nanotecnológicos: a NanoÉtica. **Latin American Journal of Development**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1031-1321, mai-jun, 2021. DOI: <https://doi.org/10.46814/lajdv3n3-024> . Disponível em: <https://latinamericanpublicacoes.com.br/ojs/index.php/jdev/article/view/341>. Acesso em: 16 jun. 2021.

PELLIN, Daniela; ENGELMANN, Wilson. A política, a economia e o direito para a efetividade do princípio da precaução: uma visão pluralista. *In*:



RUSCHEINSKY, Aloisio; CALGARO, Cleide; WEBER, Tadeu. (Org.) **Ética, direito socioambiental e democracia**. Caxias do Sul: Educus, 2018. p. 131-146.

PELLIN, Daniela; ENGELMANN, Wilson. El principio de precaución en escenario do riesgo nanotecnológico. **Cadernos de Derecho Actual**, n. 06, p. 9-29, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/49129630/El_principio_legal_de_precauci%C3%B3n_en_escenario_de_riesgo_nanotecnologico. Acesso em: 10 jun. 2021.

PINTO, Álvaro Vieira. **O Conceito de Tecnologia**. Vol. I. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005a.

PINTO, Álvaro Vieira. **O Conceito de Tecnologia**. Vol. II. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005b.

SANTOS, Leandro José dos *et al.* Fullerenos: química e aplicações. **Química Nova** [online], v. 33, n. 3, pp. 680-693, 19 abr. 2010. ISSN 1678-7064. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300036>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/ZnHmTsBzPyfLkVXqSFrC-QDf/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. (Trad. Daniel Moreira Miranda). São Paulo: Edipro, 2016.

SHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a Quarta Revolução Industrial**. (Trad. Daniel Moreira Miranda). São Paulo: Edipro, 2018.

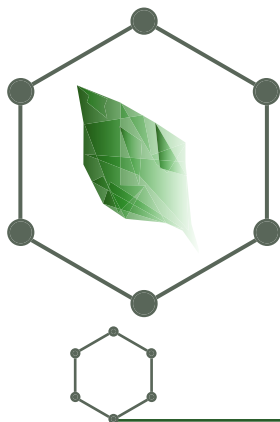
STATNANO. **Nanotechnology Products Data Base**, 2021. Disponível em: <https://product.statnano.com/>. Acesso em: 07 jun. 2021.

TAKAHASHI, Tadao (Org.). Sociedade da Informação no Brasil: o livro verde. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia, 2000. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/434>. Acesso em: 23 jun. 2021.



VALÉRIO, Xana Campos. **Crise da Legalidade Estatal e Política Nacional de Nanotecnologia**: uma leitura sob a perspectiva da tradição constitucional. Rio de Janeiro: Lumen Iuris, 2017.

VEJA-BAUDRIT, José Roberto; NUÑEZ-CORRALES, Santiago. Investigación, desarrollo y producción de nanotecnologías en Costa Rica: el caso Mipyme y Lanotec. *In*: FOLADORI, Guillermo; INVERNIZI, Noela; LAU, Edgar Záyago (Coords.). **Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina**. Universidad de Zacatecas: Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa, 2016. p. 45-61.



NANOTECNOLOGIA: COMPLEXIDADE, RISCO E O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

**Maicon Artmann
Haide Maria Hupffer
Vanusca Dalosto Jahno**



1 INTRODUÇÃO

Em razão de suas propriedades singulares, as nanotecnologias são responsáveis por uma das mais inovadoras e impactantes revoluções tecnológicas, sem precedentes e que está auxiliando a melhorar consideravelmente inúmeros setores industriais. A clara expansão desse mercado é visível na base de dados da StatNano (2021), em que são identificados 9.172 produtos e aplicações com nanopartículas nanoengenhiradas introduzidos nos mercados globais por 2.624 empresas que estão localizadas em 64 países diferentes. O setor eletrônico é o que mais desenvolve produtos, contabilizando 1.932 produtos diferentes, seguido das áreas de medicina (1.117), cosméticos (888), construção civil (883), têxtil (804), automotivo (654), meio ambiente (560), alimentos (357), aplicações em residências (332), energias renováveis (298), agricultura (231), petróleo (293), esporte e fitness (150) e 509 classificados como outros produtos.

Para se ter uma ideia do quanto produtos e aplicações com nanotecnologias já estão presentes na vida do consumidor, cita-se o setor alimentício, com uma ampla gama de nanoproductos disponibilizados no mercado, como: suplementos alimentares e de nutrientes (antien-



velhecimento, suplementos de prata, ervas, vitaminas), refeições (chocolates, cafês, iogurtes, lanches, doces, chicletes, água mineral, bebidas instantâneas em pó), nutrição esportiva (vitaminas, aminoácidos, minerais, ervas para melhorar o desempenho de atletas e desportistas), sensores alimentares (para indicar a maturação de frutas, segurança da carne, detecção de materiais pesados), embalagens (filmes com barreiras, películas protetoras de PET, sacos de lixo, tampas de alimentos, sacos de leite materno, sacos antibacterianos, filmes térmicos, aditivos, biopolímeros), encapsulamento de aromas e potencializadores de odor, proteção UV, filmes de polímeros impermeáveis, melhoria da textura e da qualidade dos alimentos, dentre outros. Os nanomateriais mais utilizados para nanoproductos são as nanopartículas de prata, ouro, dióxido de silício, zeolite e dióxido de titânio (STATNANO, 2021).

Dados recentes do relatório *Fronteras*, elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), estimam que o mercado de nanomateriais esteja crescendo 20,7% anualmente e prevê que alcance os 55 milhões de dólares em 2022 (PNUMA, 2017, p. 26).

As nanotecnologias referem-se às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos na escala que varia entre 1 e 100 nanômetros, potencializando o consumo de materiais, produtos e processos a partir da capacidade de ver e manipular átomos e moléculas nessa escala extremamente miniaturizada (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010, p. 421). Para Goda *et al.* (2017, p. 505), a nanotecnologia é a sinergia da mecânica, elétrica, engenharia química, física, biologia, ciências de materiais, microeletrônica e triagem biológica. Muitos cientistas e engenheiros reconhecem seu potencial em vários campos, tais como os de eletrônicos, comunicação, produção de energia, medicina, antimicrobianos, sensores, biomedicina, indústria alimentar, entre outros (SINGH; IKRAM, 2017, p. 19).

O tamanho muito reduzido das nanopartículas faz com que essa tecnologia seja regida por leis físicas específicas, muito diferentes daquelas com as quais a ciência está acostumada. É provável que as na-



no partículas apresentem grau de toxicidade maior do que as partículas em tamanhos convencionais, o que pode ocasionar riscos à saúde e ao meio ambiente (HOHENDORFF, 2018, p. 24).

Observa-se um estímulo crescente de empresas, laboratórios e de países para ampliarem a sua participação no sedutor mercado nano global como fator-chave para o crescimento econômico. Contudo, a velocidade do lançamento de nanoprodutos e nanoaplicações não vem acompanhada de metodologias para avaliar os potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A cada nova descoberta e posterior transformação em produto nanoengenheirado aumenta a exposição humana e a disseminação no ambiente. Esses fatos e a incerteza científica sobre os riscos justificam a adoção de medidas preventivas, precaucionais e de cuidado com as presentes e futuras gerações.

A partir do exposto, e levando em conta uma linha corrente de discussões sobre a necessidade de pesquisas para observar os riscos das nanotecnologias, o presente estudo objetiva abordar as nanotecnologias sob uma perspectiva mais ampla, proporcionando uma análise do tema sob o viés da complexidade e incerteza científica que envolvem os riscos das nanotecnologias à saúde humana e ao meio ambiente, apontando a adoção do princípio da precaução frente à irreversibilidade, invisibilidade e magnitude da utilização de nanomateriais em nível global.

2 A REVOLUÇÃO NANOTECNOLÓGICA

Engelmann, Hohendorff e Santos (2015, p. 36) definem nanotecnologia como “um agrupamento multidisciplinar de física, química, engenharia biológica, materiais, aplicações e conceitos nos quais o tamanho é a definição característica”. Nano é uma medida e engloba a manipulação a nível molecular, átomo por átomo, “criando estruturas com organizações moleculares diferentes e explorando as novas propriedades exibidas em tal escala” (ENGELMANN; HOHENDORFF; SANTOS, 2015, p. 36).



De acordo com a *International Organization for Standardization* (ISO, 2008), nano-objeto é definido como material com uma, duas ou três dimensões externas na faixa de tamanho de aproximadamente 1-100 nm. A Comissão Europeia (2011), por sua vez, define o nano como um material natural, incidental ou fabricado, contendo partículas, num estado não ligado ou como um agregado ou como um aglomerado, em que 50% ou mais das partículas têm uma ou mais dimensões externas na gama de tamanhos entre 1 nm e 100 nm. Em casos específicos e quando justificados por preocupações ambientais, sanitárias, de segurança ou de competitividade, o limite de distribuição numérico de 50% pode ser substituído por um limiar entre 1 e 50% (COMISSÃO EUROPEIA, 2011).

O conceito de nanômetro foi proposto pela primeira vez por Richard Zsigmondy, ganhador do Prêmio Nobel de Química de 1925. Ele cunhou o termo nanômetro explicitamente para caracterizar tamanho de partícula e ele foi o primeiro a medir o tamanho de partículas como coloides de ouro, usando um microscópio (HULLA; SAHU; HAYES, 2015, p. 1318).

A nanotecnologia moderna foi objeto de estudo de Richard Feynman, o Prêmio Nobel de 1965 em física. Durante a reunião da Sociedade Americana de Física de 1959, em Caltech, ele apresentou uma palestra intitulada *There's Plenty of Room in the Bottom*, na qual o cientista introduziu a ideia de manipular a matéria no nível atômico. Esse novo conceito despertou novas maneiras de pensar e as hipóteses de Feynman foram, desde então, comprovadas corretas, tornando-o conhecido como o pai da nanotecnologia moderna (HULLA; SAHU; HAYES, 2015, p. 1318).

O termo nanotecnologia foi usado pela primeira vez em 1974 por Norio Taniguchi, pesquisador da Universidade de Tóquio, que o utilizou para se referir à capacidade de engenharia de materiais em nanoescala (OCHEKPE; OLORUNFEMI; NGWULUKA, 2009, p. 268).



A era dourada da nanotecnologia começou quando, em 1985, Kroto, Smalley e Curl descobriram fulerenos, e Eric Drexler, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), promovendo e popularizando a nanotecnologia, especialmente com o lançamento, em 1986, de seu livro intitulado "Motores da criação: a próxima era da nanotecnologia" (OCHEKPE; OLORUNFEMI; NGWULUKA, 2009, p. 268), propôs a ideia de um "montador" em nanoescala que seria capaz de construir uma cópia de si mesmo e de outros itens complexos. Essa visão da nanotecnologia de Drexler é muitas vezes chamada de "nanotecnologia molecular" (HULLA; SAHU; HAYES, 2015, p. 1318).

A ciência da nanotecnologia avançou ainda mais em 1991, quando Iijima, outro cientista japonês, desenvolveu os nanotubos de carbono, que são sistemas modelo para a nanociência e a nanotecnologia (OCHEKPE; OLORUNFEMI; NGWULUKA, 2009, p. 268). Com utilização bastante diversificada,

[...] esses materiais têm sido usados na confecção de diferentes tipos de dispositivos, como emissores de elétrons para mostradores, sensores de gases e sensores biológicos, pontas para microscópio de força atômica (AFM) e, quando combinados a outros materiais, como polímeros e fibras, servem como elementos de reforço formando compósitos com excelentes propriedades mecânicas (SOUZA FILHO; FAGAN, 2007, p. 1695).

No início do século XXI, observa-se um crescente interesse nos campos emergentes da nanociência e nanotecnologia. Nos Estados Unidos, por exemplo, as ideias de Feynman e seu conceito de manipulação da matéria no nível atômico desempenharam um papel importante na formação das prioridades científicas nacionais. O presidente Bill Clinton defendeu o financiamento de pesquisas nessa tecnologia emergente durante um discurso na Caltech, em 21 de janeiro de 2000. Três anos depois, o presidente George W. Bush assinou a Lei de Pesquisa e



Desenvolvimento da Nanotecnologia do Século XXI. A legislação tornou a pesquisa em nanotecnologia uma prioridade nacional naquele país e criou a *National Nanotechnology Initiative* (NNI). Atualmente, a NNI é gerenciada dentro de um quadro no qual se encontra o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia e o seu Comitê da Tecnologia (HULLA; SAHU; HAYES, 2015, p. 1318).

Schwab (2016, p. 7-12) entende que a nanotecnologia compõe o que chama de Quarta Revolução Industrial. Segundo o autor, o momento atual diferencia-se das revoluções anteriores porque as transformações tecnológicas estão em andamento ao mesmo tempo que se discute sua especificidade, enquanto as revoluções anteriores só foram estudadas e analisadas após suas transformações se efetuaem de fato. A Quarta Revolução Industrial caracteriza-se pela fusão de diversas tecnologias e sua interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. Além da nanotecnologia, o sequenciamento genético, as novas máquinas, a computação quântica e as energias renováveis constituem exemplos deste movimento, cujo marco inicial foi a virada do século XXI e cuja base é o avanço da tecnologia digital.

O grande desafio para a aplicação dessa Quarta Revolução Industrial, na visão de Schwab (2018, p. 7), é moldá-la para o benefício de todos, ao invés de apenas aqueles privilegiados. Isso requer uma nova maneira de pensar e uma ampla compreensão das diferentes tecnologias que impactarão indivíduos, comunidades, organizações e governos. Impõe-se um aprofundamento da compreensão do modo como as novas tecnologias se conectam e influenciam as pessoas de maneiras indiretas ou óbvias, refletindo e ampliando os valores humanos à medida que se tomam decisões em relação ao investimento, *design* e reinvenção. É difícil, se não impossível, colaborar em investimentos, políticas e ações coletivas que afetam positivamente o futuro, a menos que se possa perceber a maneira como as pessoas e as tecnologias interagem (SCHWAB, 2018, p. 8).



Como se percebe, a potencialização de propriedades físicas e químicas, em razão do diminuído tamanho, abre um vasto leque de possibilidades de aplicações e usos para a nanotecnologia (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010, p. 421). Considerada uma área interdisciplinar, ela se destaca em três áreas principais: nanoeletrônicos, nanomateriais e nanobiotecnologia (OCHEKPE; OLORUNFEMI; NGWULUKA, 2009, p. 268). A nanotecnologia encontra aplicabilidade nos segmentos alimentício, eletrônico, farmacêutico, biotecnológico, cosmético, médico-hospitalar, agrícola, de segurança nacional, entre inúmeros outros (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010, p. 421).

Verifica-se, por exemplo, que grandes empresas de informática e computação têm investido fortemente no desenvolvimento de memórias lógicas baseadas em nanotubos de carbono, nanofios de ouro e nanofitas de semicondutores, com o objetivo de miniaturizar cada vez mais os circuitos eletrônicos, dando origem, por exemplo, a televisores e celulares surpreendentemente finos (BRITO; PONTES, 2016).

Os nanomateriais também se aplicam em camisas, camisetas, meias soquetes, raquetes, tacos de hóquei, de beisebol, utensílios de cozinha, materiais para espelhos, compósitos para aeronáutica, painéis solares e em cristais de transparência regulável (GONÇALVES, 2008, p. 59). Estão presentes em memórias *flash* e *leds* luminosos, aditivos alimentares e defensivos agrícolas, válvulas cardíacas e implantes ortopédicos, tecidos que não sujam e não molham, cremes e pomadas com nanocápsulas, protetores solares, pó bactericida, tintas e vernizes com aplicação mais fácil e mais resistentes a bolhas e rachaduras, massa para assentamento de tijolos ou blocos na construção de paredes, células para energia solar e hidrogênio combustível para produção e estocagem de energia de fontes limpas, baterias, películas comestíveis para revestimento de frutas e de legumes (usadas para retardar seu amadurecimento e aumentar seu tempo nas prateleiras), polímeros nanoestruturados etc. (HOHENDORFF; COIMBRA; ENGELMANN, 2016, p. 153-154).



Na construção civil, um dos nanomateriais em evidência é o nanotubo de carbono. Nessa área, a nanotecnologia ganha espaço na produção de revestimentos, impermeabilizantes, argamassas poliméricas, adesivos e selantes, lubrificantes atóxicos, solventes biodegradáveis e concreto (LI; WANG; ZHAO, 2005).

Entre as mais impactantes áreas de aplicação e ampliação do uso das nanotecnologias estão os setores farmacêuticos e de cosméticos. Com o desenvolvimento de novos materiais biocompatíveis, tem-se a "nanobiotecnologia", considerada uma disciplina revolucionária em razão de seu enorme potencial na solução de muitos problemas relacionados à saúde (HOHENDORFF; COIMBRA; ENGELMANN, 2016, p. 153-154).

Acredita-se que a chamada "nanomedicina" será menos tóxica que a medicina atual. Já existem projetos de nano-robôs que poderiam atuar, individualmente, contra células cancerígenas. Já ocorre também o desenvolvimento de moléculas fluorescentes que, medindo apenas algumas centenas de átomos, apresentam forte brilho quando expostas a algumas funções biológicas, como ataques cardíacos, derrames e infecções. Representariam, por isso, um avanço seguro no que tange ao diagnóstico celular (FIGUEIREDO, 2009).

Existem, inclusive, vários medicamentos já aprovados em uso clínico que utilizam sistemas de liberação de fármacos (*drug delivery systems*) para a vetorização ativa de nanocarreadores em tratamentos de tumores sólidos. Nesse caso, princípios da nanotecnologia são utilizados para direcionar o fármaco para as células tumorais, preservando as células saudáveis de sua ação, possibilitando melhora significativa do tratamento (COSTA; SILVA, 2017, p. 2).

O relatório *Fronteras* do PNUMA também destaca que:

Las características funcionales de los nanodiamantes les permiten superar la barrera hematoencefálica y, de ese modo, es posible aplicar remedios específicos a múltiples tipos de tumo-



res cancerosos. Por sus propiedades de fluorescencia, ópticas y electroquímicas, los nanodiamantes se utilizan en las técnicas avanzadas de imaginería biomédica y constituyen un material prometedor con vistas a la transmisión de señales sobre la salud del funcionamiento cerebral. Las nanozimas son nanomateriales dotados de propiedades intrínsecas de tipo enzimático que se desarrollan para su aplicación en los ámbitos de la biotecnología, la imaginería biomédica, el diagnóstico de tumores y las terapias (ONU, 2017, p. 26).

Ainda no que toca ao tratamento do câncer, já se verifica a existência de nanossistemas capazes de transpor as principais barreiras do organismo e, assim, reconhecer e se acumular em alguns tipos de tumores, além de transportar fármacos citotóxicos diretamente para as células cancerosas. É importante enfatizar que esses nanossistemas impedem que os fármacos sejam degradados no corpo antes de atingirem seu alvo, além de possibilitarem uma melhor absorção dos medicamentos pelos tumores e o monitoramento da distribuição do fármaco nos tecidos (COSTA; SILVA, 2017, p. 5).

Diante de tantas possibilidades, impõe-se refletir a respeito do impacto que esses produtos e seus resíduos têm sobre o ambiente e, conseqüentemente, sobre a saúde humana, especialmente por suas características tão peculiares.

3 OS RISCOS DAS NANOTECNOLOGIAS PARA A SAÚDE HUMANA E PARA O MEIO AMBIENTE

As novas tecnologias, apesar de numerosos benefícios para a sociedade, sempre trazem alguma preocupação pela possibilidade de provocar prejuízos à saúde humana ou ao ambiente. Com a nanotecnologia ocorre o mesmo.



Embora exista grande propagação dos benefícios das nanotecnologias, o potencial desta tecnologia para resultados indesejáveis na saúde humana e no meio ambiente não deve ser menosprezado, dado que, em razão do tamanho, esses 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 (HOHENDORFF, 2018, p. 130). Essa fragilidade evidencia a necessidade de se avaliar os riscos que decorrem da manipulação, do desenvolvimento e da aplicação dos nanomateriais, observando a toxicidade, os métodos apropriados para testes nessa área, bem como os impactos na saúde humana e no meio ambiente.

Os pontos de interrogação acerca dos riscos provocados em escala nano têm despertado a atenção de pesquisadores e autoridades. Percebe-se significativo aumento de publicações e pesquisas sobre riscos das nanopartículas. Até 2008, o governo federal dos EUA (Estados Unidos da América) estava injetando quase US\$ 60 milhões por ano em pesquisas de saúde e sobre os impactos ambientais da nanotecnologia. Mais recentemente, em 2016, verifica-se que 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 a saúde (HOHENDORFF, 2018, p. 131).

Voltando-se o olhar às empresas que atualmente manipulam essa tecnologia, verifica-se que a indústria nanotecnológica é composta por um grande número de empresas *start-up*, bem como algumas empresas maiores e estabelecidas. Empresas *start-up* têm permanecido, em sua maioria, silentes sobre os riscos da nanotecnologia, talvez devido às suas limitações de porte e de recursos. No entanto, a indústria química já estabelecida, por exemplo, assumiu a liderança para discutir as necessidades de pesquisa com base nos riscos potenciais da nanotecnologia. A *Chemical Industry Vision 2020 Technology Partner-*



ship estabeleceu um roteiro de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para nanomateriais que prioriza: a) avaliar a saúde humana e os riscos de impacto ambiental; b) determinar a exposição potencial para materiais nanométricos, e c) estabelecer diretrizes de manuseio para operações envolvendo nanomateriais (GUZMÁN *et al.*, 2006, p. 1402).

Na prática, o sinal de alerta acerca dos riscos desses produtos para o meio ambiente e para a saúde humana já se acende em diversas áreas. Muitas avaliações acerca da exposição de nanopartículas têm focado no trabalhador, mas a exposição do ecossistema e do público, seja na fabricação ou no uso e descarte de produtos à base de nanopartículas, também precisa ser quantificado.

Nos Estados Unidos, por exemplo, o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), já em 2008, recomendou que os empregadores deveriam tomar medidas para reduzir a exposição dos trabalhadores à nanotecnologia ao mínimo possível, até que fossem conhecidas maiores informações (NIOSH, 2008, p. 2). Em 2009, o referido instituto e o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) editaram, provisoriamente, um guia de orientação para o exame médico e de fiscalização do perigo para os trabalhadores potencialmente expostos a nanopartículas. No documento, recomendam-se as investigações toxicológicas *in vivo* e *in vitro* para identificar possíveis riscos à saúde relacionados à exposição ocupacional à nanopartículas (NIOSH, 2009, p. 2).

Embora a maioria dos efeitos negativos ocasionados pela nanotecnologia ainda seja desconhecido, alguns riscos já foram identificados em estudos relacionados à temática. Verifica-se, por exemplo, que nanopartículas de CeO_2 , um oxidante forte, foram cogitadas para polimerizar algumas pequenas moléculas orgânicas. Essas nanopartículas foram testadas para uso como um aditivo de gasolina para melhorar a combustão. A liberação ambiental do CeO_2 pode, entretanto, potencialmente causar impacto na química do carbono em solos, na água e em organismos. O impacto ambiental geral dessas partículas depende do



entendimento acerca de como as condições ambientais (como solução química, calor, pressão, reações bioquímicas ao longo do tempo e presença ou ausência de revestimentos) podem afetar a estabilidade e o comportamento (GUZMÁN *et al.*, 2006, p. 1405).

Estudos laboratoriais em animais mostraram que alguns tipos de nanopartículas podem alcançar o sangue, o cérebro e outros órgãos, quando são inalados. Alguns estudos demonstraram efeitos adversos, como inflamação e fibrose nos pulmões e outros órgãos (NIOSH, 2008, p. 2).

É o caso, por exemplo, de um estudo realizado com peixes *Cyprinus carpio* (*Cyprinidae*), em que se evidencia que os nanotubos de carbono são potencialmente perigosos em ambientes aquáticos, e que o mecanismo de toxicidade é complexo e insuficientemente compreendido até o momento (BRITTO, 2012, p. 10). Outro estudo relacionado ao mencionado projeto apresenta possíveis efeitos tóxicos no cérebro (neurotoxicidade) dos peixes *Zebrafish* (*Danio rerio*) expostos aos nanotubos de carbono (OGLIARI DAL FORNO, 2013, p. 6).

Por sinal, há motivos significativos para preocupação em relação aos nanomateriais à base de carbono, dadas as constatações de que eles participam fortemente em compostos celulares hidrofóbicos. Além disso, pesquisadores encontraram danos fotoinduzidos relacionados ao fulereno e lipídios, proteínas e células, inflamação da pele, alteração de funções bioquímicas, dano cerebral, lesão de órgãos e distribuição em células e tecidos. Os nanotubos de carbono são citotóxicos e induziram granulomas em pulmões de animais de laboratório (GUZMÁN *et al.*, 2006, p. 1405).

Outras nanopartículas, como metais e óxidos metálicos (Cu, Co, TiO_2 e SiO_2), também demonstraram ter propriedades inflamatórias e efeitos tóxicos nas células. Ademais, nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) também foram apontadas por induzirem danos de DNA e aberrações cromossômicas (GUZMÁN *et al.*, 2006, p. 1405).



Vários nanomateriais e nanopartículas que são amplamente utilizados na indústria ou em produtos comerciais provavelmente são altamente tóxicos quando introduzidos em ecossistemas ou quando tentam ser reciclados. Por exemplo, nanopartículas de TiO_2 são usadas em filtros solares, tintas e circuitos eletrônicos. Relatórios mostram que o TiO_2 pode penetrar na pele doente ou danificada em quantidades significativas e entrar na corrente sanguínea, onde pode afetar o sistema nervoso central, resultando em danos permanentes por instilação intranasal e neuroinflamação no cérebro. Além disso, o pó de dióxido de titânio é classificado pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC) como um carcinógeno do Grupo 2B, o que significa que é possivelmente cancerígeno para humanos. Ademais, os resíduos de TiO_2 , quando presentes no ambiente, podem matar micróbios e bactérias benéficas do solo, alterando completamente o equilíbrio do ecossistema (FAUNCE; KOŁODZIEJCZYK, 2017, p. 2-3).

Nanotubos de carbono, fulerenos, grafeno e nanopontos de carbono são nanomateriais à base de carbono que têm aplicações em eletrônica e outros campos. Vários relatórios propuseram o uso desses materiais em aplicações como medicina, administração de medicamentos e sensores implantáveis. No entanto, outros relatos sugerem a natureza potencialmente perigosa, tóxica ou mesmo carcinogênica desses materiais, tornando-os incompatíveis para uso em aplicações biológicas. Em 2010, a nanoprata em águas residuais já era listada como uma das 15 questões nascentes que poderiam afetar negativamente a conservação da diversidade biológica (FAUNCE; KOŁODZIEJCZYK, 2017, p. 3).

Agrava o problema o fato de que as avaliações de nanomateriais requerem o desenvolvimento de novas metodologias de análise ou a adaptação das metodologias já existentes. A nanometrologia é um desafio para a regulação de produtos de base nanotecnológica, uma vez



que inexistem uma técnica universal para a caracterização da distribuição de tamanho de nanomateriais (HOHENDORFF, 2018, p. 131).

4 COMPLEXIDADE E INCERTEZA CIENTÍFICA: O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NAS NANOTECNOLOGIAS

Vive-se a era do "pensar o impensável", das previsões de ocorrências ambientais indesejáveis (SLUJIS; TURKENBURG, 2008, p. 262). Os produtos gerados pela nanotecnologia fazem parte dessa nova época, inseridos em um campo nebuloso de incertezas, na medida em que pouco se sabe sobre o quanto esses materiais podem afetar, por exemplo, a cadeia alimentar ou a qualidade do ar (SHATKIN, 2008, p. 167).

O desenvolvimento dos produtos em escala nano trouxe consigo diversos pontos de interrogação:

Qual é a toxicidade destes materiais, que podem ser muito diferentes das do mesmo material em escala maior? Qual é a dose-resposta destes materiais? Quais são os métodos apropriados para testes de toxicidade? Os mecanismos de controle recomendados pela Higiene ocupacional são suficientes? Quais os impactos para a saúde daqueles que eventualmente manipularão uma nano partícula? Já existem estudos a este respeito? Quem é o responsável pela aplicação dos estudos? E as responsabilidades em caso de consequências adversas? Como mensurar a toxicidade? Quais os processos de fabricação envolvidos? Que possíveis produtos tóxicos são usados na fabricação de produtos nano? Quais são os dejetos? Qual o efeito dos produtos e seus dejetos em contato com o meio ambiente? Como avaliar a possível exposição? Qual a extensão da translocação destas partículas no organismo? Qual a interação das nanopartículas com os contaminantes presentes nos locais de trabalho? Como fazer, de modo seguro, o manuseio, transporte, armazenamento e descarte dos nanomateriais? (ENGELMANN; HOHENDORFF, 2013, p. 281).



Logo, diante de tantas lacunas, torna-se imperiosa a observância do princípio jurídico ambiental da precaução.

Os princípios são, em suma, núcleos de condensações, ou seja, a chave de todo o conjunto de normas (CANOTILHO; MOREIRA, 1991, p. 49). Em outras palavras, "são normas que dispõem a respeito de algo a ser realizado o mais amplamente possível dentro das relativas possibilidades do direito e dos fatos" (DERANI, 2008, p. 24).

Nesse contexto, o princípio da precaução, mais especificamente, é apto a lidar com situações nas quais o meio ambiente possa vir a sofrer graves impactos causados por novos produtos e tecnologias (como é o caso dos nanomateriais) que ainda não tenham gerado uma acumulação histórica de informações que assegurem, claramente, quais as consequências que poderão advir de sua liberação no meio ambiente (ANTUNES, 2015, p. 30-35).

Ao longo dos séculos, a precaução tem sido o cerne da teoria e da prática de saúde pública e serve como suporte para muitas das atuais políticas ambientais (TICKNER; KRIEBEL, 2006, p. 43). A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972, foi a primeira a abordar o princípio. Ainda na década de setenta, a precaução passa também a compor a legislação ambiental da Alemanha Ocidental (RIECHMANN, 2007, p. 6), onde o filósofo Hans Jonas faz as primeiras menções ao também chamado *Vorsorgeprinzip* (TICKNER; KRIEBEL, 2006, p. 43). Nos estudos de Jonas (2006, p. 23), defendia-se uma "ética do futuro" e uma obrigação precaucional transgeracional de evitar catástrofes (JONAS, 2006, p. 23).

O princípio da precaução é aplicado internacionalmente, pela primeira vez, na Primeira Conferência Internacional sobre a Proteção do Mar do Norte, em 1984, e na Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, em 1985. É um dos princípios orientadores fundamentais da política ambiental da União Europeia, destacando-se em



muitos textos legais, inclusive no Tratado de Maastricht (RIECHMANN, 2007, p. 6).

Nesse contexto, "*el principio de precaución debería aplicarse a la toma de decisiones en condiciones de ignorancia o incertidumbre*" (RIECHMANN, 2007, p. 3), especialmente diante das novas condições em que as decisões devem ser tomadas: o poder técnico-científico sem precedentes, o desconhecimento dos impactos ambientais e na saúde, a extensão dos efeitos em um mundo cada vez mais globalizado, os problemas de irreversibilidade, a extensão do dano potencial, a crescente deterioração dos sistemas biosféricos. Tudo isso corrobora para a necessidade de uma abordagem preventiva ou de precaução, possibilitando o agir antes que haja uma clara evidência dos danos, especialmente se forem danos a longo prazo ou irreversíveis (RIECHMANN, 2007, p. 5).

O princípio 15 da Declaração do Rio reflete o enfoque mais comumente aceito para o princípio em estudo:

Com o fim de proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deverá ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. (ONU, 1992).

O princípio da precaução, como se percebe também pela leitura da Carta Magna Brasileira, no art. 225, §1º, I, IV, V, busca resguardar um objetivo primordial do texto constitucional, qual seja, manter o meio ambiente ecologicamente equilibrado, salvaguardando a sadia qualidade de vida.

Tem-se indicado, na doutrina jurídica, que a precaução é voltada para os riscos inéditos, desconhecidos, de previsibilidade científica razoável ainda inexistente. Paralelamente, ainda que com conformação



racional bastante diferenciada, encontra-se o princípio da prevenção, sendo que a combinação de ambos objetiva tutelar, de maneira preventiva, as consequências do desconhecido e do provável. Enquanto "a prevenção visa riscos conhecidos", a precaução, por sua vez, circunda os atos "em um mundo recheado de dúvidas, trazendo os saberes à prova, e, em um mundo precavido, há de se indagar sempre se existe relativo grau de perigo nas consequências da ação a ser iniciada" (CATALAN, 2008, p. 65-66). Portanto, a precaução apresenta-se "como um direito fundamental a partir do momento em que determinada pesquisa ou atividade gera riscos desconhecidos à manutenção da vida digna, segura e saudável do ser humano" (ENGELMANN; FLORES; WEYERMÜLLER, 2010, p. 130).

O princípio da precaução tem quatro componentes básicos que, em suma, são: a) a incerteza passa a ser considerada na avaliação de risco; b) o ônus da prova cabe ao proponente da atividade; c) na avaliação de risco, um número razoável de alternativas ao produto ou processo devem ser estudadas e comparadas; e d) para ser precaucionária, a decisão deve ser democrática, transparente e ter a participação dos interessados no produto ou processo (NODARI, 2014, p. 3).

No rol apresentado, um dos tópicos demanda um olhar mais próximo e observador. Nas ações judiciais ambientais, a inversão do ônus da prova é utilizada como regra de julgamento em prol do meio ambiente, impondo ao causador do dano o ônus de provar que sua conduta não causou lesão. Pela aplicação do princípio da precaução, inverte-se o ônus probatório para que o potencial causador do dano prove que sua atividade não causará dano ambiental grave ou irreversível, ou ainda, que não causará dano de difícil reparação (SANDS, 2004, p. 46).

Essa proteção se justifica porque, pela regra geral tradicional, o ônus da prova poderia recair sobre a parte mais fraca do conflito, ou seja, aquele que não tem condições de fazer a melhor prova capaz de lhe assegurar o direito invocado. Paralelamente, deve ser observada a



teoria da distribuição dinâmica do ônus da prova, segundo a qual pouco importa a posição da parte ou a natureza do fato (se constitutivo, impeditivo, modificativo ou extintivo de direitos), mas sim "que o julgador aprecie, no caso concreto, qual das partes possui as melhores condições de suportar o ônus da prova e assim proceda" (ANGRISANI, 2014).

A necessária observância do princípio da precaução no caminhar dos avanços na área da nanotecnologia é medida que se impõe, visto que, partindo de uma visão sistêmica, o meio ambiente abrange não apenas os recursos naturais, artificiais e culturais, mas também todas as demais condições e influências que regem e abrigam vida em todas as suas formas (MANSUR, 2011).

Como se percebe, são polêmicas as questões relacionadas aos cuidados necessários na manipulação da matéria em escala nanométrica. Especificamente sobre o tema, o Fórum Intergovernamental sobre Segurança Química, do qual o Brasil faz parte, aprovou, em setembro de 2008, oito diretrizes que devem reger a vigilância das nanotecnologias e dos nanomateriais. Nesse rol, a ideia de precaução é a primeira a ser abordada, no sentido de que as nanotecnologias sejam sempre submetidas a esse princípio, justamente pela possibilidade de impactar a saúde e o meio ambiente (IFSC, 2008).

O referido fórum discutiu, ainda, a necessidade de uma análise do ciclo de vida dos nanomateriais no ambiente, na saúde e na segurança ocupacional, previamente ao lançamento desses produtos no mercado, além da rotulagem mandatária para itens nanomanufaturados ou que contenham nanomateriais (IFSC, 2008).

Apesar de sua importância, há também críticas à aplicabilidade prática desse princípio:

Como todo principio, es una guía general, no dice qué hacer en un caso particular. Puede describirse operativamente 'como la estrategia que, con enfoque preventivo, se aplica a la gestión del riesgo en aquellas situaciones donde hay incertidumbre científi-



ca sobre los efectos que en la salud o el medio ambiente puede producir una actividad determinada. Su aplicación requiere que, antes de aceptar una actividad o procedimiento nuevo, se disponga de evidencia de que el riesgo que comporta es aceptablemente bajo y no sólo de ausencia de evidencia de que el riesgo es elevado e inaceptable. La implementación, sin embargo, es compleja, porque no se especifica cuantitativamente la precaución que hay que tener o el momento en el que deben aplicarse las medidas precautorias'. Muchas críticas se vierten sobre el principio por cuestiones que son inherentes a la propia realidad, y que la ética asume. Una fundamental es la incertidumbre, ya que todo proyecto que se realice siempre tendrá algo de incertidumbre; suele hablarse de los riesgos, pero la noción de riesgo está montada en la de incertidumbre. Así, la epistemología de ciencias inexactas toma en cuenta esto que le es constitutivo (DÍAZ, 2016, p. 178).

Sustein (2012, p. 67) questiona o princípio da precaução não por ele conduzir a direções erradas, mas porque, "se adotado sem ressalvas, ele não conduz à direção alguma. O motivo é que riscos de um tipo ou outro estão presentes em todos os lados das alternativas regulatórias e, por isso, é impossível, na maior parte dos casos reais, evitar que o princípio seja contrariado". Para o autor, o princípio da precaução dá a falsa "impressão de ser funcional graças a mecanismos cognitivos identificáveis", o que induz a perceber o problema de forma estreita, e não abrangente, além de negligenciar e ignorar "alguns riscos que efetivamente estão presentes". Sustein (2012, p. 14) em momento algum quer dar a impressão de não apoiar os objetivos que motivam o princípio da precaução, tais como a importância da proteção contra riscos à saúde e ao meio ambiente, a relevância de se cuidar de efeitos indesejados das inovações tecnológicas e a necessidade de se garantir que países ricos paguem, "na justa medida, para melhorar as condições do meio ambiente e reduzir os riscos nessa esfera". O que Sustein (2012, p. 14)



sustenta é que "o princípio da precaução é um meio cruel de promover estes objetivos, que deveriam ser perseguidos diretamente". A intenção do autor não é a de desenvolver a substituição do princípio, "mas argumentar no sentido de uma visão mais ampla para a regulação de riscos" (SUSTEIN, 2012, p. 14).

Nesse ponto, vale ressaltar que a observância do princípio da precaução pelo poder público não objetiva necessariamente estancar o progresso da humanidade, da ciência, ou da economia, tampouco edificar obstáculos para o desenvolvimento da indústria. O referido princípio visa, sim, à durabilidade da sadia qualidade de vida das gerações humanas e à continuidade da natureza existente no planeta (MACHADO, 2010, p. 56).

O princípio da precaução vem ao encontro de uma nova maneira de pensar o capitalismo, ao passo que o lucro já não deve estar em primeiro lugar, grifando-se a necessidade de ponderação sobre as consequências à saúde do meio ambiente. Nesse contexto, deve-se também considerar não só o risco iminente de uma determinada atividade como também os riscos futuros decorrentes de empreendimentos humanos, os quais o atual estágio de desenvolvimento da ciência ainda não consegue captar em toda amplitude (DERANI, 2008, p. 151).

Ademais, uma vez consciente da importância do meio ambiente, a sociedade torna-se apta a avaliar a necessidade de uma determinada atividade e, por meio do Direito, do Estado e de sua própria organização, pode instrumentalizar as políticas públicas com a introdução do princípio da precaução, de modo a verificar se aquilo que se pretende empreender é realmente indispensável (DERANI, 2008, p. 153).

O conflito entre as ideias de sustentabilidade e progresso econômico, aliado à existência de uma gama demasiadamente ampla de utilização dos nanoproductos, leva parte dos autores a referir que a aplicação do princípio da precaução à nanotecnociência requer uma análise diferenciada, não sendo sensato atribuir a todos os ramos dessa tecnologia



a conotação de ameaça inerente, porque, embora os relatórios e artigos científicos sobre nanotecnociência façam referência a definições, terminologias, toxicidade, segurança e regulação, ainda restam dúvidas e incertezas, em parte devido à falsa noção de que todas as nanopartículas, indistintamente, têm um modo de toxicidade desconhecido e específico (TAVARES; SCHRAMM, 2010, p. 251).

Consoante o pensamento de Sintez (2011, p. 451), antes da realização do fato danoso, como evidenciam as situações de ameaça à vida privada, a sanção deve ser dada para antecipar-se à realização do dano, ainda que o risco não seja inteiramente conhecido. Por isso, impõe-se a aplicação do princípio precautório, que outorga o derradeiro fundamento normativo para as conclusões apresentadas por Sintez (2011, p. 451): "assim, antes da realização do fato danoso, as manifestações preventivas da responsabilidade civil se realizam, seja por meio de medidas preventivas de antecipação do risco conhecido, seja por meio de medidas de precaução".

Portanto, ainda que inexista uma lei específica regulamentando a matéria da nanotecnologia no Brasil, ainda que pela via da interpretação integrativa da *analogia legis*, o ordenamento jurídico brasileiro possibilita certa regulamentação à nanotecnologia para identificação da responsabilidade, mensuração dos parâmetros, sanção e estabelecimento de condutas precavidas no trato para com o risco nanotecnológico, em especial por estabelecerem o princípio da precaução, como a Lei de Biossegurança nº. 11.105/2005; a Política Nacional de Resíduos Sólidos nº. 12.305/2010; de Atividades Nucleares nº. 6.453/1977, além da prática jurisprudencial. Devem ser aplicados, ainda, o princípio da precaução fundamentado pela obrigação geral de segurança e da reparação integral dos danos, da dignidade humana e do respeito à vida e à saúde (NOLASCO, 2016).

Certo é que, em virtude da descoberta crescente de nanopartículas, da lacuna de conhecimento acerca de comportamento desses ma-



teriais manipulados em escala de tamanho extremamente reduzida e da insuficiência de validação dos testes de toxicologia para avaliação da segurança e dos riscos dessas partículas, verifica-se que os dados atualmente disponíveis são insuficientes para assegurar a liberação, a comercialização e o uso de produtos nanotecnológicos (GEBEL; MARCHAN; HENGSTLER, 2013, p. 2059) sem que o tema seja minimamente abraçado pelo Direito.

A utilização de produtos nano sem a certeza das consequências representa a concretização de um risco abstrato, típico da sociedade de risco e da modernidade reflexiva. Nesse sentido, impõe-se observar o princípio da precaução como forma de proteção contra os riscos potenciais que, de acordo com o estado atual do conhecimento, não podem ser ainda identificados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As nanotecnologias oferecem possibilidades sem precedentes na história da humanidade, responsáveis por profundas mudanças e benefícios em inúmeros setores a cada novo nanoproduto lançado no mercado, o que tem atraído grandes investimentos de governos, empresas e universidades. Particularmente atraentes e com soluções tecnológicas inimagináveis, as nanotecnologias estão presentes nas áreas da medicina, fármacos, alimentos, cosméticos, materiais de construção, vestuário, materiais de higiene, automóveis, tecnologia da informação e comunicação, tintas, energia, robótica, meio ambiente, armamentos, materiais esportivos, entre tantos outros. Entretanto, o entusiasmo com os promissores benefícios propagados tem também resultado em inúmeras preocupações sobre riscos e danos à saúde humana e ao meio ambiente.

O conhecimento disponibilizado sobre nanotoxicidade, bioacumulação, nanopoluição, patógenos emergentes, consequências de dife-



rentes associações entre nanopartículas e outros potenciais riscos das nanotecnologias à saúde humana e ao meio ambiente ainda não são suficientemente sólidos para liberar uma utilização segura. Assim, assumir a cautela e a prudência, que estão presentes no princípio da precaução, torna-se uma medida necessária frente à ambivalência entre os benefícios que os produtos nanoengenheirados podem propiciar à humanidade e as insuficientes pesquisas sobre riscos para as presentes e futuras gerações. Contextualizar e ressignificar o princípio da precaução é, antes de tudo, uma atitude de solidariedade intergeracional e de cuidado com a essência do ser humano.

Entretanto, é importante ressaltar que a aplicação do princípio da precaução deve se dar por meio da elaboração de normas flexíveis e com o uso da melhor técnica científica disponível, de modo a evitar um engessamento econômico desnecessário e que leve a sociedade a privar-se exageradamente dos benefícios que as nanotecnologias podem oferecer.

REFERÊNCIAS

ANGRISANI, Vera Lúcia. Ônus da prova no processo civil em matéria ambiental. Disponível em: <http://www.epm.sp.gov.br/Artigo/DireitoAmbientalUrbanismo/23393?pagina=>. Acesso em: 24 maio 2021.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito Ambiental**. 17. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2015.

BRITO, Ana Cristina Facundo de; PONTES, Daniel de Lima. **A indústria na era dos nanomateriais**. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/albinonunes/disciplinas/quimica-experimental/industria-quimica/cap-8>. Acesso em: 24 maio 2021.

CATALAN, Marcos Jorge. **Proteção constitucional do meio ambiente e seus mecanismos de tutela**. 1. ed. São Paulo: Método, 2008.



CANOTILHO, J. J. Gomes; MOREIRA, Vital. **Fundamentos da constituição**. Coimbra: Coimbra Editora, 1991.

COMISSÃO EUROPEIA. **Comission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial**. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011H0696>. Acesso em: 24 maio 2021.

COSTA, Alessandro Mariano; SILVA, Viviane Viana. Estratégias nanotecnológicas para diagnóstico e tratamento do Câncer. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, Três Lagoas, v. 5, n. 2, p. 1-13, ago./dez. 2017. Disponível em: <file:///D:/NANOTECNOLOGIA/4137-14317-1-PB.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

DERANI, Cristiane. **Direito ambiental econômico**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

DÍAZ, Jorge Alberto Álvarez. **Aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud**. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2016. Disponível em: <http://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMÜLLER, André Rafael. **Nanotecnologias, Marcos Regulatórios e Direito Ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; SANTOS, Paulo Júnior Trindade dos. A inovação nanotecnologia e suas consequências nas ciências de impacto: a necessária inovação e adaptação do direito para dar respostas jurídicas adequadas. *In*: III Semana de Ciência Política, Universidade Federal de São Carlos, 27 a 29 de abril de 2015. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.semecip.ufscar.br/wp-content/uploads/2014/12/Wilson-Engelmann.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.



ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von. Nanotecnologias, Meio Ambiente do Trabalho e responsabilidade civil do empregador: buscando subsídios para a construção da primazia do valor social do trabalho na era nanotech. *In*: BARBATO, Maria Rosaria; BRAN-DAO, Daniela da Rocha (Org). **Direito do trabalho II**. Florianópolis: FUNJAB, 2013. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=cd7214aaa777172b>. Acesso em: 24 maio 2021.

FAUCE, Thomas; KOLODZIEJCZYK, Bartlomiej. **Nanowaste**: Need for Disposal and Recycling Standards. G20 Insights, 2017. Disponível em: https://www.g20-insights.org/wp-content/uploads/2017/05/Agenda-2030_Nanowaste-1.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.

FIGUEIREDO, José. **Nanomedicina**: ficção ou realidade? Universidade do Algarve. CNA – Centro para automação em nanobiotecnologia, 2009. Disponível em: http://www.observatoriodoalgarve.com/cna/opinioes_ver.asp?opinioao=683. Acesso em: 24 maio 2021.

GODA, Chirag; TUHAMI, Mohamed; KABLAN, Ali; MISHRA, Ravinesh. A Review on Nanotechnology in Cancer Treatment. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, n. 5, v. 6, p. 505-516, 2017. Disponível em: <http://www.wjpps.com/download/article/1493446338.pdf&hl=pt-BR&sa=X&scisig=AAGBfm29JZIB09FAx6leDsGOu5Qmduixw&noss=1&oi=scholarlr>. Acesso em: 22 out. 2021

GUZMÁN, Katherine A. Dunphy; TAYLOR, Margaret R.; BANFIELD, Jullian F. Environmental Risks of Nanotechnology: National Nanotechnology Initiative Funding, 2000-2004. **Environ. Sci. Technol**, n. 40, p. 1401-1407, 2006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0515708>. Acesso em: 24 maio 2021.

HOHENDORFF, Raquel Von; COIMBRA, Rodrigo; ENGELMANN, Wilson. As nanotecnologias, os riscos e as interfaces com o direito à saúde do trabalhador. **RIL**, Brasília, 53, n. 209, p. 151-172, jan./mar. 2016. Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/520003/001063229.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.



HOHENDORFF, Raquel Von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos:** lidando com a improbabilidade da comunicação Inter-Sistêmica entre o Direito e a Ciência em Busca de Mecanismos para Concretar os Objetivos de Sustentabilidade do Milênio. 2018. 478 f. Tese (Doutorado em Direito). Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 24 maio 2021.

HULLA, J. E.; SAHU, S. C.; HAYES, A. W. Nanotechnology: History and future. **Human and Experimental Toxicology**, v. 34, p. 1318-1321, 2015. Disponível em: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=edd8ad7f-7990-479e-9d68-d0a07e5f1f17%40sessio nmgr4010&vid=2&hid=4207>. Acesso em: 24 maio 2021.

GEBEL, T.; MARCHAN, R.; HENGSTLER, J. G. The nanotoxicology revolution. **Archives of Toxicology**, n. 87, p. 2057-2062, 2013. Disponível em: <http://paperity.org/p/35789551/the-nanotoxicology-revolution>. Acesso em: 24 maio 2021.

GONÇALVES, A. G. **Incorporação de nanomateriais em substratos têxteis.** 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2008.

INTERGOVERNMENTAL FORUM ON CHEMICAL SAFETY (IFCS). **Sixth Intergovernmental Forum on Chemical Safety.** Nanotechnology and manufactured nanomaterials. Dakar, Senegal, 2008. Disponível em: http://www.who.int/ifcs/saicm/conference_chemicals/letterunep_en.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TS 27687:** 2008: nanotechnologies: terminology and definitions for nano-objects: nanoparticle, nanofibre and nanoplate. Geneva, 2008. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/44278.html>. Acesso em: 24 maio 2021.



JONAS, Hans. **O princípio responsabilidade**: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica. Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

LI, Geng Ying; WANG, Pei Ming; ZHAO, Xiaohua. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubos. **Carbon**, n. 43, p. 1239-1245, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 24 maio 2021.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 18. ed. São Paulo: Malheiros Editores, 2010.

MANSUR, Yasmine Santos. Desenvolvimento Sustentável: o princípio da precaução como uma ferramenta equalizadora entre os interesses da natureza e da sociedade. **Revista Relações Internacionais no Mundo Atual**, v. 1, n. 3, p. 141-154, 2011. Disponível em: <http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/RIMA/article/viewFile/191/165>. Acesso em: 24 maio 2021.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Safe nanotechnology in the workplace an introduction for employers, managers, and safety and health professionals**. 2008. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2008-112/pdfs/2008-112.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

NODARI, Rubens Onofre. **Pertinência da Ciência Precaucionária na identificação dos riscos associados aos produtos das novas tecnologias**. 2014. Disponível em: http://www.ghente.org/etica/principio_da_precaucao.pdf. Acesso em: 25 maio 2021.

NOLASCO, Loreci. **Regulamentação jurídica da nanotecnologia**. 2016. 437 f. Tese (Doctor Scientiae). Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biodiversidade da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6252/5/Tese%20-%20Loreci%20%20Gottschalk%20Nolasco%20-%202016.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.



OCHEKPE, Nelson A.; OLORUNFEMI, Patrick O.; NGWULUKA, Ndi-di C. Nanotechnology and Drug Delivery Part 1: Background and Applications. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, n. 8, p. 265-274, jun. 2009. Disponível em: https://www.tjpr.org/vol8_no3/2009_8_3_11_Ochekpe.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.

OGLIARI DAL FORNO, Gonzalo. Intraperitoneal Exposure to Nano/Microparticles of Fullerene (C60) Increases Acetylcholinesterase Activity and Lipid Peroxidation in Adult Zebrafish (*Danio rerio*) Brain. **BioMed Research International**, v. 2013, maio 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3705814/>. Acesso em: 21 maio 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 1992. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Fronteras 2017. **Nuevos temas de interés ambiental**. Nairobi, 2017.

PASCHOALINO, Matheus P.; MARCONE, Glauciene P. S.; JARDIM, Wilson F. Os nanomateriais e a questão ambiental. **Quim. Nova**, v. 33, n. 2, p. 421-430, 2010.

RIECHMANN, Jorge. Introducción al principio de precaución. *In*: ORTEGA, García J. A.; NAVARRETE, Montoya A.; FERRÍS, Tortajada. **El cáncer, una enfermedad prevenible**. 1. ed. Murcia: FFIS, 2007.

SANDS, Philippe. O princípio da precaução. *In*: VARELLA, M. D.; PLATIAU, A. F. B. **Princípio da Precaução**. Belo Horizonte: Del Rey, 2004.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

SCHWAB, Klaus. **Shaping the Fourth Industrial Revolution**. Genova: World Economic Forum, 2018.



SHATKIN, J. A. **Nanotechnology: Health and Environmental Risks**. Nova Iorque: CRC Press Taylor and Francis Group, 2008.

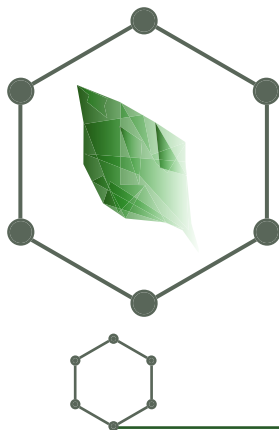
SINTEZ, Cyril. **La sanction préventive en droit de la responsabilité civile**: contribution à la théorie de l'interprétation et de la mise en effet des normes. Paris: Dalloz, 2011.

SOUZA FILHO, Antônio Gomes de; FAGAN, Solange Binotto. Funcionalização de Nanotubos de Carbono. **Quim. Nova**, n. 7, v. 30, p. 1695-1703, 2007. Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_revisao_gomes_2007.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.

SUSTEIN, Cass R. Para além do princípio da precaução. Tradução de Letícia Garcia Ribeiro Dyniewicz, Luciana Rampato Schena e Michelle Denise Durieux Lopes Destri. **RDA – Revista de Direito Administrativo**, Rio de Janeiro, v. 259, p. 11-71, jan./abr. 2012. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rda/article/view/8629/7373>. Acesso em: 24 maio 2021.

TAVARES, Eder Torres; SCHRAMM, Fermin Roland. Princípio de precaução e nanotecnociências. **Rev. bioét.**, n. 23, p. 244-255, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S-1983-80422015000200244#B67. Acesso em: 24 maio 2021.

TICKNER, Joel; KRIEBEL, David. The role of science and precaution in environmental and public health policy. *In: Implementing the Precautionary Principle*. Perspectives and Prospects. Cheltenham (UK): Edward Elgar, 2006.



A APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA PREVENÇÃO, PRECAUÇÃO E POLUIDOR-PAGADOR AOS RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

**Juliane Altmann Berwig
Wilson Engemann**



1 INTRODUÇÃO

As nanotecnologias têm fascinado o mundo com suas mais diversas formas de inovar “soluções” para o cotidiano da sociedade em seus mais variados sistemas e formatos de funcionamento. Ao mesmo tempo em que esta brilhante tecnologia aponta para um cenário de novidades positivas, as incertezas quanto aos seus riscos de danos ambientais e, conseqüentemente, humanos exigem atenção para orientar os pesquisadores das ciências sociais e das ciências “duras” (engenheiros, físicos, químicos...) para direcionar esforços orientando as ações de prevenção e precaução.

Inúmeros são os estudos que apontam para os graves danos que as nanotecnologias podem gerar e tais danos estão relacionados à sua escala nanométrica, ou seja, os nanoagroquímicos, por exemplo, podem chegar aonde os agroquímicos não chegam, no sentido de estruturas das plantas e até mesmo de quem se alimenta delas: insetos, animais, humanos e demais seres vivos.

Apesar de parecer algo totalmente novo, as nanotecnologias já fazem parte do cotidiano dos seres humanos, estando presentes em uma série de produtos. De acordo com a base de dados Statnano, atual-



mente existem 9.287 produtos com nanotecnologia no mercado (STATNANO). Todavia, no Sistema do Direito Ambiental Brasileiro, os fatos nanotecnológicos não estão consagrados em nenhuma norma explícita de Direito objetivo (Direito/não Direito). Desta maneira, o problema que se identifica nesta pesquisa é: dada a inexistência de legislação específica, de que maneira poderiam os princípios da prevenção, precaução e poluidor-pagador serem aplicados aos riscos nanotecnológicos em proteção ao meio ambiente?

Para esta pesquisa, utilizar-se-á a pesquisa bibliográfica e a matriz sistêmico-constructivista como metodologia, uma vez que se faz necessária, para a o desenvolvimento da análise, a compreensão inicial dos riscos nanotecnológicos pelo Direito para posterior apresentação de "respostas" através de seus princípios do Direito Ambiental Brasileiro.

O objetivo da pesquisa é: demonstrar as possíveis respostas que o Sistema do Direito Ambiental brasileiro poderia oferecer aos riscos das nanotecnologias através dos princípios da prevenção, precaução e poluidor-pagador. Para tanto, iniciar-se-á a presente explanação abordando a importância da aplicação dos princípios do Direito Ambiental aos riscos nanotecnológicos e, posteriormente, em específico os Princípios da Prevenção, Precaução e Poluidor-Pagador.

2 OS PRINCÍPIOS DO DIREITO AMBIENTAL APLICADOS AOS RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

O risco de ocorrência de um desastre ambiental decorrentes das nanotecnologias deve ser levado em consideração, e a passagem de Žižek (2012, p. 314-315) explica este paradoxo enfrentado diante dos riscos e incertezas científicas:



O dilema em relação à ameaça de uma catástrofe é: ou levamos a ameaça a sério e tomamos providências que, se a catástrofe não acontecer, parecerão ridículas, ou não fazemos nada e perdemos tudo se ela acontecer. A pior alternativa é escolher o caminho do meio e tomar providências limitadas; nesse caso, falharemos, aconteça o que acontecer. Não há caminho do meio em relação a uma catástrofe ambiental e, nesse tipo de situação, falar em prevenção e precaução e controle dos riscos tende a perder o sentido, já que lidamos com o que [...] deveríamos chamar de "desconhecidos": não só não sabemos onde está o ponto de virada, como nem ao menos sabemos exatamente o que não sabemos.

O movimento ecologista pôs em evidências princípios fundamentais, que indicam uma responsabilidade civil de antecipação e não apenas de reparação como até então se verifica. Ou seja, eles justamente apontam que há a necessidade de levar os juízes a acentuar a tendência de, em certos casos, assimilar a ameaça de danos, permitindo a cassação da atividade potencialmente perigosa. O Princípio da Precaução pode inclusive ser invocado para a responsabilidade civil, em razão da imprudência/negligência quando já haviam suspeitas sérias emitidas por cientistas sobre a inocuidade de determinado produto (VINEY, 2008, p. 44 e 55).

Sarlet, Machado e Fensterseifer argumentam que, no Sistema do Direito Ambiental brasileiro, os princípios jurídicos contêm força normativa, muito embora haja diferença na estrutura entre princípios e regras. Em razão da força jurídico-normativa, os Princípios são fundamentais para o desenvolvimento do Direito Ambiental, especialmente para auxiliar na interpretação e suprir as lacunas existentes nas regras (SARLET; MACHADO; FENSTERSEIFER, 2015, p. 192-193). Ou seja, eles são estruturantes do Sistema do Direito Ambiental (LEITE; AYALA, 2010, p. 50).



Os Princípios são considerados a base, o fundamento ou o ponto de apoio, neles devem estar alicerçados o pensamento. Ademais, relacionando esta definição ao contexto das nanotecnologias, os princípios são capazes de produzir “soluções adequadas, sem a necessidade de se recorrer aos limites rigoroso de um texto normativo”. Devem, portanto, ser considerados em um novo conceito de Direito, aceitando-se a maleabilidade como a única forma de possibilitar a adaptação do Direito às novas situações produzidas pela sociedade (ENGELMANN, 2001, p. 88 e 160).

Dworkin explica que as regras se distinguem dos princípios através do modo de aplicação. As regras são aplicadas em determinado padrão, elas se encaixam ou não em determinado caso concreto. Princípios são aplicados em outra lógica, em outro âmbito de incidência, a partir de um centro gravitacional. Utilizam a lógica de mais e menos (DWORKIN, 2010, p. 39 e 42). O autor sustenta que qualquer teoria do Direito deve fornecer uma base para o dever judicial, de modo que os princípios justifiquem as regras estabelecidas. Para isso, é preciso identificar as preocupações e tradições da sociedade que efetivamente sustentam esses princípios (MOTTA, 2010, p. 103-104).

Para tanto, os princípios emanam das declarações internacionais sobre a proteção ambiental e, apesar de não possuírem caráter obrigatório imediato (*soft law*), são relevantes e não podem ser ignorados pelo Sistema do Direito (KRELL, 2018, p. 2182).

Frydman (2016, p. 94) explica que há a necessidade do Sistema do Direito se engajar com as demais disciplinas para manter a função do próprio sistema. Ademais, não só os operadores do Direito estão se deparando com os desafios das novas tecnologias:

Certamente, o jurista não será o único a ocupar esse terreno, onde será necessariamente chamado a trabalhar, e dialogar, em estreita colaboração ou em concorrência com o sociólogo, o economista, o administrador e o engenheiro, e também o filósofo-



fo. Mas ele não tem outra alternativa senão a de se engajar na exploração destas "terras desconhecidas", se ele quiser manter sua eminente função de especialista em normas. Pois, como já acontecera muitas vezes na história, a noção, o domínio, os meios e as técnicas do Direito evoluem. O desejo do jurista em continuar o mesmo não pode se fundamentar em um suposto monopólio, mas unicamente em seu trabalho e seu talento.

Portanto, uma abordagem responsável em todo o ciclo de vida do produto que contém nanotecnologia deve contemplar o desenvolvimento, a produção, o uso e o descarte. Esta abordagem inclui fases: (1) identificar os riscos com testes apropriados para produtos específicos em vários estágios de desenvolvimento; (2) desenvolver técnicas de gestão de risco, com um foco em procedimentos seguros em diferentes fases do ciclo de vida; (3) desenvolver mecanismos de transparência, técnicas para informar as partes interessadas internas e externas e o público em geral, sobre identificação de riscos e decisões de gestão de risco; e (4) estabelecer sistemas de monitoramento para acompanhar a implementação e determinar a eficácia das técnicas de gestão de risco, com informações apropriadas, avaliação e ajustes necessários (SYLVESTER; ABBOTT; MARCHANT, 2008, p. 43-60).

Portanto, no contexto dos riscos nanotecnológicos, os princípios ganham importância e podem apontar para adequadas respostas, além de essenciais no preenchimento de lacunas no sistema jurídico, caso das nanotecnologias em que os fatos nanotecnológicos não são conhecidos pelo Sistema do Direito. Ademais, os princípios permitem adotar condutas maleáveis como forma de adaptação do Direito a esses novos riscos produzidos pelas inovações nanotecnológicas.



3 OS PRINCÍPIOS DA PREVENÇÃO E PRECAUÇÃO: SUAS SEMELHANÇAS E DISTINÇÕES

O Princípio da Prevenção é aplicável aos impactos ambientais já conhecidos e aos quais, com segurança, é possível estabelecer o nexo de causalidade suficiente para a identificação dos impactos futuros prováveis (ANTUNES, 2016, p. 50-51). Em seu conceito definido por Milaré, a prevenção é aplicada "quando o perigo é certo e quando se tem elementos seguros para afirmar que uma determinada atividade é efetivamente perigosa" (MILARÉ, 2013, p. 262).

Em âmbito internacional, o Princípio da Prevenção foi destacado na Declaração do Rio de 1992, nos artigos 2, 14 e 17. O princípio 2 determina, em síntese, que os Estados são soberanos para autorizar as atividades dentro do seu território, todavia, devem prevenir e assegurar que as atividades desenvolvidas não causem danos ambientais aos demais Estados.

Princípio 2 - Os Estados, de acordo com a Carta das Nações Unidas e com os princípios do Direito internacional, têm o Direito soberano de explorar seus próprios recursos segundo suas próprias políticas de meio ambiente e de desenvolvimento, e a responsabilidade de assegurar que atividades sob sua jurisdição ou seu controle não causem danos ao meio ambiente de outros Estados ou de áreas além dos limites da jurisdição nacional.

O princípio 14 remete claramente ao desastre ocorrido em 1970 em Bhopal (Índia) na empresa Union Carbide. O acidente causou a morte de milhares de pessoas, contaminação do solo, do ar e da água e até hoje produz efeitos prejudiciais à saúde das comunidades. O desastre deixou evidente que a transferência irresponsável de tecnologias entre países é: causadora de prejuízos à população, não respeita as diferenças sociais, econômicas e culturais, quando está operando e nem após o encerramento das atividades (WITTCKIND; BERWIG; ENGELMANN,



2017, p. 293-316). Em lugar de instalar as plantas poluentes em seus territórios, muitas empresas de países desenvolvidos o fazem em outros países. Isto porque, em alguns países, as normas de proteção ao trabalhador são mais flexibilizadas, ou seja, os funcionários recebem apenas salário mínimo e não são informados sobre os perigos que enfrentam para a realização do trabalho (MORONE; WOODHOUSE, 1988).

Jasanoff registra que o desastre de Bhopal diz muito sobre "os custos humanos da globalização", e que também ilustrou a incapacidade da lei e da ciência de restaurarem a ordem, após o resultado do choque radical entre diferentes culturas, conhecimento e justiça (em razão da implantação da tecnologia americana em solo indiano). Neste sentido, o Art. 14 visa banir esta conduta:

Princípio 14 - Os Estados devem cooperar de forma efetiva para desestimular ou prevenir a realocação e transferência, para outros Estados, de atividades e substâncias que causem degradação ambiental grave ou que sejam prejudiciais à saúde humana.

O princípio 17 reflete a mesma previsão contida no Art. 225, § 1º, IV da CF/88 quanto à necessidade de realização de estudos de impacto ambiental:

Princípio 17 - A avaliação do impacto ambiental, como instrumento nacional, será efetuada para as atividades planejadas que possam vir a ter um impacto adverso significativo sobre o meio ambiente e estejam sujeitas à decisão de uma autoridade nacional competente.

No Sistema de Direito Ambiental brasileiro, o Princípio da Prevenção é encontrado, por exemplo, no art. 225, §1º, I, II, III, IV, VI e VII da CF/88 e no art. 2º, IV da Política Nacional do Meio Ambiente. A aplicação do Princípio da Prevenção ocorre quando o prejuízo ambiental é



conhecido, mais ou menos mensurável em seus efeitos e relacionado de forma direta a determinado empreendimento, atividade ou tecnologia (ALEMAR, 2014, p. 529). O licenciamento ambiental, assim como os estudos de impacto ambiental exigidos pela legislação são exemplos de aplicação prática da prevenção, pois ambos são realizados com base em conhecimentos acumulados sobre o meio ambiente (ANTUNES, 2016, p. 50-51). Importante mencionar, neste sentido do Licenciamento ambiental, que atualmente os riscos nanotecnológicos não são observados neste, uma vez que não há lei específica para tais exigências. Diante disso, os riscos nanotecnológicos passam pelo "filtro" do licenciamento ambiental.

A aplicação do Princípio da Prevenção não deve ser estática, pois deve se exigir atualizar e reavaliar todos os bens ambientais em relação às atividades danosas, para gerar a influência e a capacidade de formulação das novas políticas ambientais, das ações dos empreendedores e das atividades da Administração Pública, dos legisladores e do Judiciário (MACHADO, 2014, p. 120). Portanto, diante das compreensões doutrinárias e legais, pode-se apontar que Princípio da Prevenção é: Aplicável aos impactos ambientais já conhecidos com possível verificação do nexo de causalidade entre a atividade e os futuros danos ambientais prováveis.

A incerteza é o elemento que distingue o Princípio da Prevenção do da Precaução. Se o risco for atual ou futuro, mas certo, ou ao menos com uma probabilidade muito elevada, exige a aplicação do Princípio da Prevenção que obriga o decisor a tomar medidas para evitar o dano. Se o risco for incerto, então se está no domínio da precaução e é ele o único fundamento das medidas precaucionais do risco (ARAGÃO, 2011-2012, p. 159-185), conforme será aprofundado a seguir.

Se você olhar o princípio seriamente ao seu máximo, você nunca poderá atravessar a rua (afinal, você pode ser atropelado por um carro); você nunca poderia passar por cima de uma ponte (afinal,



ela pode desmoronar); você nunca poderia se casar (afinal, pode acabar em um desastre); etc. Se alguém realmente agisse desta forma, ele logo iria acabar em uma instituição mental. (SUNSTEIN, 2005, p. 110).

Para situar o Princípio da Precaução na história, a sua manifestação ocorreu em primeiras versões, ao que se teve conhecimento, na Lei de Proteção Ambiental Sueca de 1969 (SUNSTEIN, 2005, p. 16). A lei, em várias passagens, prevê que as Agências Estatais têm autorização para em precaução proibir as atividades nocivas ao meio ambiente. O artigo 50 da mesma lei Sueca prevê que, se o interessado teve sua permissão negada, mas se responsabilizar por eventuais danos, a decisão pode ser novamente reavaliada.

Diversos acordos, declarações e convenções foram firmados internacionalmente após a Lei Sueca e antes da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992. A declaração traz, dentre outros, o Princípio 15, hoje conhecido como a definição do significado do Princípio da Precaução. O Acordo-Quadro sobre Meio Ambiente, assinado em Assunção, no âmbito do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), em 22 de junho de 2001, internalizado pelo Decreto Legislativo nº 333, de 2003, reafirma seu compromisso com os princípios enunciados na Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 1992, objetivando estabelecer uma agenda comum no bloco econômico no que tange ao meio-ambiente e ao desenvolvimento sustentável (MERCOSUL).

Diante deste percurso histórico, fica claro que a definição do que é o Princípio da Precaução é resultado de uma evolução com início registrado na legislação sueca até seu marco na Declaração Rio 1992. Apesar disso, muitos questionamentos ainda pairam sobre a aplicação empírica do referido Princípio.

Em fevereiro de 2000, "um grande passo foi dado no esclarecimento do sentido do princípio da precaução com a publicação, pela Co-



missão da Comunicação relativa ao princípio da precaução" (ARAGÃO, 2011, p. 62). A comunicação tem como objetivo clarificar o recurso ao princípio da precaução na prevenção de riscos e estabelecer igualmente diretrizes para a sua aplicação (EUR-LEX).

Na conceituação de Milaré (2013, p. 262), além das incertezas científicas, a aplicação do Princípio da Precaução também ocorre quando estas forem insuficientes e inconclusivas, bem como quando houver indícios de danos potenciais:

A invocação do Princípio da Precaução é uma decisão a ser tomada quando a informação científica é insuficiente, inconclusiva ou incerta e haja indicações de que os possíveis efeitos sobre o ambiente, a saúde das pessoas ou dos animais ou a proteção vegetal possam ser potencialmente perigosos e incompatíveis com o nível de proteção escolhido.

Um aspecto importante da interpretação do Princípio da Precaução é em relação a sua aplicabilidade aos demais Princípios presentes no Sistema Jurídico Brasileiro. Neste sentido, Antunes afirma que o Princípio da Precaução "é um princípio setorial que não pode se sobrepor aos princípios constitucionais mais abrangentes" (previstos no artigo 1º da Constituição Federal, por exemplo). Ele deve, portanto, ser harmonizado com os demais princípios, tais como a ampla defesa, a isonomia e tantos outros. Além disso, o princípio não deve ser interpretado como uma cláusula geral, aberta e indeterminada (ANTUNES, 2016, p. 31 e 39).

Aragão compreende que o Princípio da Precaução pode e deve ser convocado "sempre que haja dúvidas científicas quanto ao risco de ocorrência de danos ou quanto ao tipo de danos associados". Pressuposto fundamental do princípio é que os riscos sejam verossímeis e que os danos possíveis sejam graves e irreversíveis (ARAGÃO, 2014, p. 8).

Em suma, o Princípio da Precaução é compreendido pela doutrina dominante como devendo ser imposto "quando o exercício de determi-



nada atividade pode gerar prejuízos ainda desconhecidos pelo homem" (AMORIM, 2017). Inclusive, a Comissão das Comunidades Europeias afirmou em seu relatório denominado "Comunicação da Comissão Relativa ao Princípio da Precaução" que:

A invocação do princípio da precaução é uma decisão exercida quando a informação científica é insuficiente, inconclusiva ou incerta e haja indicações de que os possíveis efeitos sobre o ambiente, a saúde das pessoas ou dos animais ou a proteção vegetal possam ser potencialmente perigosos e incompatíveis com o nível de proteção escolhido. (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2000).

De acordo com Milaré e Setzer, é possível dizer que o princípio da precaução apresenta dois pressupostos: i) "a possibilidade de que as condutas humanas causem danos coletivos vinculados a situações catastróficas que podem afetar o conjunto de seres vivos – por uma parte – e a falta de evidência científica (incerteza) a respeito da existência do dano temido – por outra"; ii) a "incerteza não somente na relação de causalidade entre o ato e suas consequências, mas quanto à realidade do dano, a medida do risco ou do dano". (MILARÉ; SETZER, 2006). Sendo seus pressupostos: a existência de riscos graves e a existência de incertezas significativas quanto aos riscos (ARAGÃO, 2011, 2012).

A primeira parte de Princípio da Precaução esclarece que ele só se aplica em situações em que haja uma "ameaça de dano sério ou irreversível". Portanto, não se aplica a precaução em casos de certeza de dano ambiental – mas em "situações em que haja, simplesmente, presunção sobre a possibilidade ou probabilidade de dano sério ou irreversível". Em sua segunda parte, o Princípio menciona que a incerteza científica não deve ser utilizada como razão para postergar as medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. Nessa segunda, "não é explícito a que exatamente a certeza científica se refe-



re". Apesar de sabido que o Princípio Precaução, como diretriz, "busca regular a participação do conhecimento técnico e científico e o conhecimento de senso comum na previsão e no combate a degradações ambientais potencializadas por tecnologias" (CEZAR; ABRANTES, 2003).

Portanto, a Ciência atua, neste âmbito, como balizadora do que se enquadra como dano grave ou irreversível. Assim, uma vez comprovada, por meios técnico-científicos disponíveis, a existência do dano ambiental na situação fática, ou seja, em que há nexos de causalidade, cabe ao Direito a tomada de medidas restritivas à atividade de impacto. O Direito atua no fim da linha de um processo de protagonismo que incumbe à Ciência, pois, identificar os riscos, e o nexo de causalidade não é função precípua do operador jurídico, mas do agente científico (MINASSA, 2018).

O que é verificado é que o recurso ao Princípio da Precaução presuppõe, de acordo com o relatório da Comissão das Comunidades Europeias (2000), quanto às incertezas:

- i) A identificação de efeitos potencialmente nocivos decorrentes de um fenômeno, de um produto ou de um processo;
- ii) uma avaliação científica dos riscos que, devido à insuficiência dos dados, ao seu carácter inconclusivo ou ainda à sua imprecisão, não permitem determinar com suficiente certeza o risco em questão.

Aos governos cabe, então, a atribuição e empenho no desenvolvimento de políticas que objetivem a concretização da precaução. Com este entendimento, Derani menciona que são necessárias a implementação de pesquisas, o desenvolvimento de tecnologia ambiental, a construção de um sistema para observação das mudanças ecológicas, a imposição de objetivos de políticas ambientais para médio e longo prazo, a sistematização das organizações no plano de uma política de proteção ambiental, o fortalecimento dos órgãos estatais para o aprimoramento



da execução dos programas ambientais, bem como para a formação de textos legislativos visando uma efetiva organização política e legislativa da proteção ambiental (DERANI, 2008, p. 151-152).

Em suma, para além das decisões de política ambiental em sentido estrito, "o princípio da precaução aplica-se em todas as matérias" que possam causar riscos graves a Direitos protegidos, como: o meio ambiente, a saúde pública, a segurança pública, a segurança dos consumidores (ARAGÃO, 2011, 2012, p. 159-185), enfim os Direitos Humanos e Fundamentais.

Para tanto, o princípio da prevenção é aplicável aos impactos ambientais já conhecidos com possível verificação do nexo de causalidade entre a atividade e os futuros danos ambientais prováveis. Em outro sentido, o Princípio da Precaução, apesar dos desafios para se estabelecer uma definição uníssona de sentido, é aplicável aos casos em que há uma maior incerteza científica quanto aos danos ambientais. Ou seja, pode-se dizer que tanto a prevenção quanto a precaução atuam na linha de frente para evitar a ocorrência dos danos ambientais, mas, entre elas, a distinção de definição ocorre pelo simples fato da prevenção estar mais próxima do ponto de certeza e a precaução do ponto de incerteza.

4 O PRINCÍPIO DO POLUIDOR-PAGADOR: PREVENÇÃO E REPARAÇÃO

Ao lado do Princípio da Precaução, o Princípio do Poluidor-Pagador, no Direito Alemão, está presente desde os anos 70 (MACHADO, 2014, p. 95). De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente, o conceito de poluidor é: "IV - poluidor, a pessoa física ou jurídica, de Direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental".



No cenário internacional, o primeiro momento em que o Princípio do Poluidor-Pagador foi mencionado foi em 1972 pela *Organisation for Economic Co-Operation And Development* (Organização para Cooperação e para o Desenvolvimento Econômico), mencionando o *Polluter-Pays Principle* (Princípio do Poluidor-Pagador) com a explanação:

O princípio a ser utilizado para a alocação dos custos da prevenção da poluição e do controle das medidas que favorece o uso racional dos recursos ambientais escassos e evita distorções no comércio internacional e investimentos é assim denominado de "Princípio do Poluidor- Pagador". Este princípio significa que o poluidor deve suportar as despesas relativas às medidas acima mencionadas, emanadas de autoridades públicas para que o meio ambiente permaneça num estado aceitável. Em outras palavras, o custo dessas medidas deverá repercutir nos custos dos bens e serviços que estão na origem da poluição pelo fato de sua produção e/ou consumo. Tais medidas não devem ser acompanhadas de subsídios que criariam distorções significantes no comércio e investimento internacional. (OECD).

Na Declaração do Rio 92 sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o Artigo 16 também é reconhecido como direcionador do Princípio do Poluidor-Pagador:

Princípio 16: As autoridades nacionais devem procurar promover a internacionalização dos custos ambientais e o uso de instrumentos econômicos, tendo em vista a abordagem segundo a qual o poluidor deve, em princípio, arcar com o custo da poluição, com a devida atenção ao interesse público e sem provocar distorções no comércio e nos investimentos internacionais.

Este Princípio parte da constatação de que "os recursos ambientais são escassos e que o seu uso na produção e no consumo acarretam



a sua redução e degradação". Uma vez que, se o custo da redução dos recursos naturais não for considerado no sistema de preços, o mercado não será capaz de refletir a escassez dos recursos ambientais, sendo, portanto, necessárias políticas públicas para assegurar que os preços dos produtos reflitam os custos ambientais (ANTUNES, 2016, p. 55).

Diante disso, o Princípio do Poluidor-Pagador "visa a internalização dos custos relativos externos de deterioração ambiental". Objetivando, assim, um maior cuidado em relação ao potencial poluidor das formas de produção, tendo em conta a necessidade da qualidade do meio ambiente. Pela aplicação deste princípio, "impõe-se ao "sujeito econômico" (produtor, consumidor, transportador), que nesta relação pode causar um problema ambiental, arcar com os custos da diminuição ou afastamento do dano" (DERANI, 2008, p. 142).

Krell concorda ao afirmar que o Princípio do Poluidor-Pagador busca a "internalização dos custos econômicos ligados ao uso de recursos ambientais, onerando diretamente o usuário destes, através da criação de mecanismos que reduzem o seu consumo e/ou desperdício". (KRELL, 2018, p. 2183).

Como sabido, os recursos ambientais (natureza pública), sempre que danificados, implicam em um custo público para a sua recuperação. Este custo é suportado por toda a sociedade. Portanto, o Princípio possui uma origem econômica e hoje é considerado um dos "princípios jurídicos ambientais mais importantes para a proteção ambiental" (ANTUNES, 2016, p. 56). A lógica é de vincular juridicamente "o gerador de tais custos ambientais, independentemente de ser fornecedor ou mesmo consumidor, com o propósito de o mesmo ser responsabilizado e, conseqüentemente, arcar com tais custos ecológicos, exonerando-se a sociedade desse encargo" (SARLET; MACHADO; FENSTERSEIFER, 2015, p. 215).

Milaré esclarece o engano que ocorre muitas vezes na interpretação do princípio, afirmando que "o pagamento pelo lançamento de



efluentes, por exemplo, não alforria condutas inconsequentes, de modo a ensejar o descarte de resíduos fora dos padrões e das normas ambientais". Desta maneira, as cobranças apenas podem ser realizadas no respaldo na lei, sob pena de se admitir o Direito de poluir. Assim, "trata-se do princípio do poluidor-pagador (poluiu, paga os danos) e não o pagador-poluidor (pagou, então pode poluir). Esta colocação gramatical não deixa margem a equívocos ou ambiguidades na interpretação do princípio" (MILARÉ, 2013, p. 267).

Benjamin confirma, neste sentido, que o Princípio Poluidor-Pagador "significa que o poluidor deve assumir os custos das medidas necessárias a garantir que o meio ambiente permaneça em um estado aceitável". Ou seja, que os custos da prevenção da degradação não sejam externalizados, mas sim, internalizados, mediante a produção dos custos do mercado incluídos os custos da prevenção ambiental (BENJAMIN, 1998, p. 21).

Com a mesma visão, Antunes (2016, p. 56) compreende que o Princípio do Poluidor-Pagador se diferencia do da responsabilidade, pois no primeiro objetiva-se impedir que os danos venham a ocorrer, quando o segundo visa a recuperação do dano ocasionado:

O elemento que diferencia o Princípio do Poluidor Pagador da responsabilidade é que ele busca afastar o ônus do custo econômico das costas da coletividade e dirigi-lo diretamente ao utilizador dos recursos ambientais. Ele não pretende recuperar um bem ambiental que tenha sido lesado, mas estabelecer um mecanismo econômico que impeça o desperdício de recursos ambientais, impondo-lhes preços compatíveis com a realidade.

Diferentemente, Machado (2014, p. 91) compreende que o Princípio do Poluidor-Pagador "obriga o poluidor a pagar a poluição que pode ser causada ou que já foi causada". Ou seja, o autor compreende que o princípio atua tanto na internalização das possíveis externalidades (pre-



venção), quanto no dever de recuperação das externalidades já causadas (recuperação). Nesta mesma ideia, Lemos (2010, p.174) afirma que "o principal objetivo do Princípio é a internalização das externalidades ambientais, ou seja, dos custos de prevenção dos danos. Permite-se que tais externalidade repercutam nos custos finais de produtos e serviços cuja produção seja poluente".

O Princípio do Poluidor-Pagador possui sua fundação jurídica no Art.14, § 1º, da Lei 6.938/1981, quando determina que o poluidor é responsável por indenizar ou reparar os danos ao meio ambiente:

Art. 14 - Sem prejuízo das penalidades definidas pela legislação federal, estadual e municipal, o não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção dos inconvenientes e danos causados pela degradação da qualidade ambiental sujeitará os transgressores:

[...]

§ 1º - Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente.

Como já mencionado, em relação à responsabilização, o Art. 225 da CF/88 também retrata a trílice responsabilidade (LEITE; PILATI, 2014, p. 423): "§ 3º – As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados".

Aragão (2014, p. 9) compreende que o princípio do poluidor-pagador é a conjugação de dois princípios: princípio da responsabilidade e o princípio da equivalência. O princípio da responsabilidade, primei-



ro *heterônimo* do princípio do poluidor-pagador, fornece critérios para a imputação dos encargos (financeiros e outros) da produção a um determinado sujeito. O princípio da equivalência, segundo *heterônimo* do princípio do poluidor-pagador, aponta para uma extensão da responsabilidade a todos os custos – não apenas econômicos, mas também sociais e ambientais.

Diante desta lógica, alguns autores denominam o Princípio do Poluidor-Pagador associado ao Princípio da responsabilização ou ao Princípio da Reparação, no sentido de "quem polui, paga e repara." (LEITE; AYALA, 2010, p. 58-60). Este princípio remete a responsabilização dos danos ambientais ao poluidor tanto pela responsabilidade civil quanto os mesmos associados aos instrumentos jurídicos-administrativos e à responsabilidade penal ambiental. "Esta tríplice responsabilização deve ser articulada conjunta, coerente e sistematicamente, em verdadeiro sistema múltiplo de imputação ao degradador ambiental." (LEITE; AYALA, 2010, p. 66).

Verifica-se que a aplicação do Princípio do Poluidor-Pagador às nanotecnologias está intimamente relacionada às medidas necessárias a serem realizadas tanto para internalizar as possíveis externalidades quanto para reparar os danos ambientais decorrentes da tecnologia.

Um exemplo importante para a aplicação deste Princípio é a responsabilidade em relação às possíveis externalidades geradas pelos resíduos, lançamento de efluentes ou emissões de gases. Assim, por exemplo, em relação aos resíduos, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, e as NBRs 12335 e 11174, e a respeito dos efluentes as resoluções CONAMA 430/2011 e 357/2005 são obrigações importantes sobre as externalidades da produção e que devem ser aplicadas também para os casos de produção com nanotecnologia.

Para tanto, o Princípio do Poluidor-Pagador atua na internalização das possíveis externalidades (prevenção) e no dever de recuperação das externalidades (danos ambientais) já causadas.



Diante das questões levantadas, percebe-se que o Sistema do Direito e, em especial, o Sistema do Direito Ambiental brasileiro precisam adequar-se à nova lógica evolutiva. Esta lógica que é comandada pelo Sistema da Economia e das Ciências, mas que reflete em riscos tanto ao meio ambiente quanto para os seres humanos. Para que o Sistema do Direito se mantenha operante, transformações são necessárias e dentre elas uma maior abertura através da transdisciplinaridade para que haja comunicação com os demais subsistemas. Através desta mesma abertura que será plausível compreender os riscos nanotecnológicos ao meio ambiente e então aplicar empiricamente os princípios do Direito Ambiental, resultando em medidas eficazes para conter os eventos desastrosos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme pontuado na introdução do presente capítulo, o objetivo proposto para este é: demonstrar as possíveis respostas que o Sistema do Direito Ambiental brasileiro poderia oferecer aos riscos das nanotecnologias através dos princípios da prevenção, precaução e poluidor-pagador. Para tanto, verificou-se que a ausência de legislação objetiva a respeito da gestão dos riscos nanotecnológicos ao meio ambiente exige do Sistema do Direito Ambiental uma postura fundada nos Princípios da Prevenção, Precaução e Poluidor-Pagador para evitar os danos ambientais decorrentes das nanotecnologias e, na ocorrência de um dano, exigir a sua reparação. Portanto, no contexto dos riscos nanotecnológicos, os princípios ganham importância e podem apontar para adequadas respostas, além de essenciais no preenchimento de lacunas no sistema jurídico, especialmente no caso das nanotecnologias em que os fatos nanotecnológicos não fazem parte de normas específicas.

O problema de pesquisa proposto para o presente capítulo foi: dada a inexistência de legislação específica, de que maneira poderiam



os princípios da prevenção, precaução e poluidor-pagador serem aplicados aos riscos nanotecnológicos em proteção ao meio ambiente?

Em resposta ao problema proposto, verificou-se que uma abordagem responsável em todo o ciclo de vida do produto é essencial. Esta abordagem inclui fases que vão desde a identificação dos riscos, ao desenvolvimento de técnicas de gestão de risco, mecanismos de transparência e estabelecimento de sistemas de monitoramento. Neste sentido, o Princípio da Prevenção é aplicável aos impactos ambientais já conhecidos com possível verificação do nexo de causalidade entre a atividade e os futuros danos ambientais prováveis. Esta aplicação não deve ser estática, deve estar atualizada e ser reavaliada de acordo com as inovações e pareceres das demais ciências do conhecimento envolvidas.

Quanto ao Princípio da Precaução, pode ser dividido em duas partes para melhor interpretação, de acordo com o conceito da Rio 1992. A primeira parte esclarece que ele só se aplica em situações em que haja uma ameaça de dano sério ou irreversível. Portanto, em situações que haja presunção sobre a possibilidade ou probabilidade de dano sério ou irreversível. Na segunda parte do Princípio, a incerteza científica não deve ser utilizada como razão para postergar as medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. Logo, a ciência atua, neste âmbito, como balizadora do que se enquadra como dano grave ou irreversível. Assim, uma vez comprovada por meios técnico-científicos disponíveis, a existência do dano ambiental na situação fática, ou seja, em que há nexo de causalidade, cabe ao Direito a tomada de medidas restritivas à atividade de impacto. Ou seja, o Direito, com fundamento na Precaução, atua no fim da linha de um processo de protagonismo que incumbe à Ciência, pois identificar os riscos e o nexo de causalidade não é função precípua do operador jurídico, mas do agente científico.



Ou seja, pode-se dizer que tanto a prevenção quanto a precaução atuam na linha de frente para evitar a ocorrência dos danos ambientais, mas entre elas a distinção de definição ocorre pelo simples fato da prevenção estar mais próxima do ponto de certeza e a precaução do ponto de incerteza.

O Princípio do Poluidor-Pagador atua na internalização das possíveis externalidades (prevenção) e no dever de recuperação das externalidades (danos ambientais) já causadas. A aplicação do Princípio do Poluidor-Pagador às nanotecnologias está intimamente relacionada às medidas necessárias a serem realizadas tanto para internalizar as possíveis externalidades quanto para reparar os danos ambientais decorrentes da tecnologia, como por exemplo em relação às possíveis externalidades geradas pelos resíduos, lançamento de efluentes, emissões de gases.

Para tanto, os Princípios da Prevenção, Precaução e Poluidor-Pagador são instrumentos aptos para atuar na contenção dos riscos de danos ambientais causados pelas nanotecnologias, apesar da inexistência de legislação específica.

REFERÊNCIAS

ALEMAR, Aguinaldo. O Princípio da Prevenção. *In*: CASTELLANO, Elisabete Gabriela; ROSSI, Alexandre; CRESTANA, Silvio (Orgs.). **Princípios gerais do Direito Ambiental**. Brasília: Embrapa, 2014.

AMORIM, Camila Silva de. Os princípios do direito ambiental da precaução e da prevenção num paralelo com os conceitos de previsibilidade e previsão. **Revista de Direito Ambiental**, v. 86, p. 49 – 65, abr./jun., 2017.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito Ambiental**. 18. ed. rev. ampl. e atual. São Paulo: Atlas, 2016.

ARAGÃO, Alexandra. Aplicação nacional do princípio da precaução. *In*: **Associação dos Magistrados da Jurisdição Administrativa e Fiscal de**



Portugal. Colóquios 2011-2012. Lisboa. p. 159-185. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/24581>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ARAGÃO, Alexandra. Direito Constitucional do Ambiente da União Europeia. *In*: CANITOLHO, José Joaquim Gomes; LEITE, José Rubens Morato.

Direito Constitucional Ambiental Brasileiro. São Paulo: Saraiva, 2011.

ARAGÃO, Alexandra. Princípios fundamentais do Direito dos Resíduos. *In*: MIRANDA, João; MARQUES, Rui Cunha; GUIMARÃES, Ana Luísa; KIRKBY, Mark (Coords.) **Direito dos Resíduos.** Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10520:1992:** Armazenamento de resíduos sólidos perigosos - Procedimento. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2926>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11174:1990:** Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes - Procedimento. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=5044>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BENJAMIN, Antônio Herman de Vasconcellos e. Responsabilidade Civil pelo Dano Ambiental. **Revista de Direito Ambiental**, v. 9, p. 5-52, jan./mar. 1998.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005,** sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 20 jul. 2021.



BRASIL. **Decreto Legislativo Nº 333, de 2003**. Aprova o texto do Acordo-Quadro sobre Meio Ambiente, assinado em Assunção, no âmbito do Mercado Comum do Sul - MERCOSUL, em 22 de junho de 2001. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2003/decretolegislativo-333-24-julho-2003-494160-acordo-quadro-1-pl.html>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 20 jul. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 20 jul. 2021.

CEZAR, Frederico Gonçalves; ABRANTES, Paulo César Coelho. Princípio da Precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 225-262, maio/ago. 2003. Disponível em: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8743>. Acesso em: 20 jul. 2021.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Comunicação da Comissão Relativa ao Princípio da Precaução**. 2000. Disponível em: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/21676661-a79f-4153-b984-aeb28f07c80a/language-pt>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.



DERANI, Cristiane. **Direito ambiental econômico**. São Paulo: Saraiva, 2008.

DWORKIN, Ronald. **Levando os Direitos a Sério**. Tradução: Nelson Boeira. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2010.

ENGELMANN, Wilson. **Crítica ao positivismo jurídico**: princípios, regras e o conceito de Direito. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris, 2001.

EUR-LEX. Access to European Union Law. **Comunicação da Comissão relativa ao princípio da precaução**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX%3A52000DC0001>. Acesso em: 20 jul. 2021.

FRYDMAN, Benoit. **O fim do Estado de Direito**: governar por *standards* e indicadores. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2016.

JASANOFF, Sheila. Bhopal's Trials of Knowledge and Ignorance. *In: New England Law Review*. Disponível em: www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/518194. Acesso em: 20 jul. 2021.

KRELL, Andreas Joachim. Art. 225. *In: CANOTILHO, José Joaquim Gomes; SARLET, Ingo Wolfgang; STRECK, Lenio Luiz; MENDES, Gilmar Ferreira (Orgs). Comentários à Constituição do Brasil*. São Paulo: Saraiva, 2018.

LEITE, José Rubens Morato; AYALA, Patryck de Araújo. **Dano Ambiental**: do individual ao coletivo extrapatrimonial. 3. ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2010.

LEITE, José Rubens Morato; PILATI, Luciana Cardoso. Evolução da responsabilidade civil ambiental no Brasil. *In: CASTELLANO, Elisabete Gabriela; ROSSI, Alexandre; CRESTANA, Silvio (Orgs.). Princípios gerais do Direito Ambiental*. Brasília: Embrapa, 2014.

LEMONS, Patrícia Faga Iglesias. **Direito Ambiental**: responsabilidade civil e proteção ao meio ambiente. 3. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2010.



MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 22. ed. rev. ampl. e atual. São Paulo: Malheiros, 2014.

MERCADO COMUM DO SUL (MERCOSUL). **Acordo-Quadro sobre Meio Ambiente**. Disponível em: https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/DEC_002-2001_PT_FERR_Acordo%20Meio%20Ambiente_MCS_At%201_01.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

MILARÉ, Édis. **Direito do Ambiente**. 8. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2013.

MILARÉ, Edis; SETZER, Joana. Aplicação do princípio da precaução em áreas de incerteza científica: exposição a campos eletromagnéticos gerados por estações de radiobase. **Revista de Direito Ambiental**, v. 41, ano 11, p. 13-14, jan./mar., 2006.

MINASSA, Pedro Sampaio. A incógnita ambiental do princípio da precaução. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 8, n. 1, p. 158-159, 2018. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/4982/3348>. Acesso em: 20 jul. 2021.

MORONE, Joseph G.; WOODHOUSE, Edward J. **Averting Catastrophe Strategies for Regulating Risky Technologies**. Berkeley: University of California Press, 1988.

MOTTA, Francisco José Borges. **Levando o Direito a sério**: uma crítica hermenêutica ao protagonismo judicial. Coleção Lenio Luiz Streck. Florianópolis: Conceito, 2010.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Recommendation of the Council on Guiding Principles concerning International Economic Aspects of Environmental Policies**, 26 May 1972 – C (72) 128. Disponível em: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD\(92\)81&docLanguage=E](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(92)81&docLanguage=E). Acesso em: 20 jul. 2021.



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU Meio Ambiente Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**. Disponível em: <https://na-coesunidas.org/agencia/onumeioambiente/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SARLET, Ingo Wolfgang; MACHADO, Paulo Affonso Leme; FENSTERSEIFER, Tiago. **Constituição e legislação ambiental comentadas**. São Paulo: Saraiva, 2015.

SCIENCE AND ENVIRONMENTAL HEALTH NETWORK. **The Precautionary Principle in Action**. Disponível em: <http://www.sehn.org/rtfdocs/handbook-rtf.rtf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SUNSTEIN, Cass R. **Laws of fear: beyond the precautionary principle**. New York: Cambridge, 2005.

STATNANO. **Nanotechnology Products Data Base**, 2021. Disponível em: <https://product.statnano.com/>. Acesso em: 21 jul 2021.

SYLVESTER, Douglas; ABBOTT, Kenneth; MARCHANT, Gary. Risk Management Principles for Nanotechnology. **NanoEthics**, v. 2, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1020104>. Acesso em: 20 jul. 2021.

VINEY, Geneviève. As tendências atuais do Direito da Responsabilidade Civil. *In*: TEPEDINO, Gustavo (Org.). **Direito Civil Contemporâneo: novos problemas à luz da Legalidade Constitucional**. São Paulo: Atlas.

WITTCKIND, Ellara Valentini; BERWIG, Juliane Altmann; ENGELMANN, Wilson. O desastre de bhopal: riscos e vulnerabilidades na transferência de tecnologias e o direito de saber. **Veredas do Direito**, v. 14, n. 30, p. 293-316. 2017. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revisita/index.php/veredas/article/view/1185>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ZIZEK, Slavoj. **Vivendo no fim dos tempos**. Tradução de Maria Beatriz de Medina. São Paulo: Biotempo, 2012.



OS DIREITOS HUMANOS COMO BASE JURÍDICA PARA A PROTEÇÃO AOS RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

**Juliane Altmann Berwig
Haide Maria Hupffer
Wilson Engelmann**



1 INTRODUÇÃO

Produtos e aplicações com nanotecnologia estão presentes em diferentes setores (cosméticos, medicina, diagnóstico e prevenção de doenças, sistemas de direcionamento de medicamentos e pesticidas, energia, têxtil, construção civil, tratamento e remediação de águas, alimentos, automotivo, aeroespacial, naval, siderurgia, polímeros, alimentos, bactericidas, tecnologia da informação e comunicação, entre outros), que proporcionam características nunca antes vistas. Fruto da convergência de diversas áreas, mensura-se que existam no mercado 9.052 (STATNANO, 2021) produtos que contenham nanotecnologia e que geram enormes impactos na sociedade.

Todavia, além das oportunidades de evolução, as nanotecnologias também representam sérios riscos, pois os elementos químicos em escala nanométrica possuem atributos totalmente distintos dos em escala macrométrica. Em razão da escala 10^{-9} , as capacidades de permeabilidade, dispersão, persistência, absorção e interação são potencialmente maiores, se comparado com os materiais produzidos em escalas tradicionais. Por isso, as evidências científicas apontam que as



nanotecnologias podem apresentar riscos graves de alta magnitude à saúde humana e ao meio ambiente.

Para tanto, neste cenário de desenvolvimento nanotecnológico, mudanças na forma jurídica de prevenção e precaução são o desafio, pois, na atual sociedade de riscos, preceitos e fundamentos tradicionais do Direito não são mais suficientes para gerenciar estes riscos, especialmente em razão da característica reparatória e não precaucional do Direito. Neste viés, uma abordagem de proteção em nível global, partindo-se pela base dos Direitos Humanos, demonstra-se essencial e aplicável.

A partir de tal premissa, o problema a ser enfrentado no presente artigo está assim delineado: de que maneira os Direitos Humanos poderiam contribuir para a prevenção/precaução aos riscos nanotecnológicos?

Para responder ao problema da pesquisa, utilizar-se-á a pesquisa bibliográfica e a matriz sistêmico-constructivista como metodologia, em razão da necessária observação dos riscos nanotecnológicos pelo sistema do Direito. O objetivo é evidenciar a aplicação dos Direitos Humanos diante dos riscos nanotecnológicos, em um cenário global e complexo. Assim, pretende-se demonstrar a existência de relação entre a terceira Dimensão dos Direitos Humanos e os riscos nanotecnológicos, para então apontar a necessidade de uma governança internacional para as nanotecnologias fundada na vigilância, cuidado, dignidade humana, responsabilidade com a integridade corpo/mente e em novos conceitos para a proteção dos seres humanos e do meio ambiente, inclusive para as próximas gerações.

2 AS DIMENSÕES DOS DIREITOS HUMANOS

Entre os séculos VIII e II a.C. surgiu pela primeira vez a "ideia de uma igualdade essencial entre todos os homens". Entretanto, foram ne-



cessários vinte e cinco séculos para que fosse proclamado pela primeira vez na Declaração Universal de Direitos Humanos que “todos os homens nascem livres e iguais em dignidade e direitos”, pelo simples fato de sua humanidade (COMPARATO, 2018, p. 26).

No que diz respeito à expressão “Direitos Humanos”, ela emergiu pela “primeira vez na década de 1920, em escritos relativos a minorias dos Estados europeus que eram antes impérios” e estavam dissolvidos, como Áustria-Hungria, Alemanha e Rússia (WEYERMÜLLER, 2018, p. 240). O terreno foi preparado pela Declaração de Direitos da Virgínia de 1776 (igualdade, independência, gozo da vida e da liberdade) e pela Declaração Francesa dos Direitos do Homem e do Cidadão de 1789 (igualdade perante a lei, liberdade de opinião, autoridade da lei penal) e assumidos na Constituição mexicana de 1917 e na Constituição de Weimar de 1919 (COMPARATO, 2018, p. 65). Quanto à compreensão conceitual, Dworkin (2002, p. XV) sustenta que os Direitos Humanos são precedidos pelos Direitos Naturais, os quais existem antes do Direito positivado. Estes Direitos são consequência da vida em sociedade e são inalienáveis, indisponíveis e condição necessária à dignidade da pessoa humana. Os Direitos Humanos resultam de diversos movimentos e revoltas históricas, logo, não se pode dizer que sempre existiram, mas sim que foram conquistados.

Entre os fatos históricos que culminaram na Declaração Universal dos Direitos Humanos em 1948 (DUDH), estão as duas lições de crueldade experimentadas pela humanidade no período da segunda grande guerra mundial (1940-1945) nos campos de concentração nazistas e as consequências devastadoras dos bombardeios nucleares realizados pelos Estados Unidos em Hiroshima e Nagasaki no ano de 1945 (CHACON; CRUZ, 2005).

O espírito que permeou a elaboração da DUDH para um acordo em torno de certos Direitos mínimos e de mecanismos garantidores, só avançou por ter sido possível deixar de lado diferenças culturais, religio-



sas e políticas para caminhar na direção de “Direitos universais e válidos separados dos textos constitucionais dos Estados”. O passo seguinte seria sua positivação para que fossem aplicados (WEYERMÜLLER, 2018, p. 244). A constatação da necessidade de acordar Direitos universais e válidos impulsionou o entendimento de que as constituições nacionais teriam um papel fundamental na efetividade dos Direitos Humanos, o que significa que não pode haver “um Direito humano superior e universal, descolado das constituições. Ao perpassar diferentes culturas, os Direitos humanos somente seriam considerados Direitos mediante diferenças e complexidades” (WEYERMÜLLER, 2018, p. 127-135).

Os direitos promulgados na DUDH (ONU, 1948) internalizaram a ideia de que todos os seres humanos merecem igual respeito e devem ter “como garantia mínima de proteção a dignidade humana”. A pós-barbáries da segunda Guerra Mundial deixou como grande lição que a “proteção dos direitos humanos não pode ficar limitada ao âmbito dos Estados”, quando não cumpridos, há a “necessidade de uma maior proteção a nível global de tais direitos” (LIMA; FRUTUOSO, 2018, p. 8).

Discorrer a respeito dos Direitos Humanos não é buscar na doutrina e nas normativas nacionais e internacionais uma denominação estanque, fechada, imutável. Na verdade, o que ocorre é que a cada novo cenário, novos desafios, medos e violações surgem. Assim, os Direitos Humanos se remodelam para sempre protegerem a dignidade da vida humana, são dinâmicos e se moldam ao contexto, o que significa dizer que podem ser alterados, substancialmente, frente a novas prioridades e condições que vão se tornando emergentes à humanidade com as mudanças das condições históricas. Neste sentido, Wolkmer (2013, p. 125) menciona que existem dimensões de Direitos Humanos relacionados, claramente, com o contexto social, político, cultural e econômico vivido à sua época.

Os Direitos Humanos de Primeira Dimensão (ou de primeira geração, segundo alguns autores) decorrem de acontecimentos dos séculos



XVIII e XIX, são os Direitos civis e políticos, como os "direitos individuais vinculados à liberdade, à igualdade, à propriedade, à segurança e à resistência às diversas formas de opressão inerentes à individualidade, tidos como atributos naturais, inalienáveis e imprescritíveis". Por este motivo, os Direitos Humanos de Primeira Dimensão são tidos como Direitos "negativos", pois são Direitos de defesa contra o Estado (WOLKMER, 2013, p. 127). Objetivam limitar a interferência do poder estatal na vida privada. Esta dimensão ocorre em um cenário assinalado pelos ideais jusnaturalistas, iluminista, liberal e individual, bem como com o fortalecimento das "teses do Estado Democrático de Direito, da teoria da tripartição dos poderes, do princípio da soberania popular e da doutrina da universalidade dos direitos e garantias fundamentais" (WOLKMER, 2013, p. 127).

Ao contrário dos Direitos de Primeira Dimensão tidos como direitos "negativos", os Direitos Humanos de Segunda Dimensão legitimam a garantia do cidadão ao bem-estar e o dever do Estado de realizar ações protetivas e positivas de amparo, como assegurar à saúde, a educação, o trabalho, o lazer, a moradia, a assistência social e a cultura (PÉREZ LUÑO, 2012, p. 16-17). Os Direitos de Segunda Dimensão nascem com a concepção de Estado de Bem-Estar, que seria "aquele Estado em que todos os cidadãos, independente da sua situação social, têm direito a ser protegido, através de mecanismos/prestações públicas estatais". Por isso, a questão da igualdade de direitos, tanto para indivíduos como para grupos e coletividade, aparece com força nos Direitos de Segunda Dimensão. Nos Direitos de Segunda Dimensão o Estado passa a ter um papel central na promoção da igualdade de direitos à sadia qualidade de vida (BOLZAN DE MORAIS, 2012, p. 37-38).

Os Direitos Humanos de Terceira Dimensão estão fundamentados no direito à paz, na autodeterminação dos povos, na sadia qualidade de vida, na defesa do consumidor, no direito de comunicação, na preservação do patrimônio histórico e cultural. Sua nota distintiva está no fato



de se desprenderem da titularidade homem-indivíduo para ingressarem na proteção de grupos humanos (família, nação, povo), razão pela qual são reconhecidos como "direito de titularidade coletiva ou difusa" (SARLET, 2015, p. 57-62). Contemplam os direitos relacionados ao desenvolvimento tecnocientífico e suas consequências à saúde humana e ao meio ambiente, ou seja, aos riscos apresentados pelas novas tecnologias que interferem na esfera da dignidade humana e dos direitos fundamentais (PÉREZ LUÑO, 2012, p. 19). Logo, nesta dimensão estão os direitos metaindividuais, direitos de solidariedade, direitos coletivos e difusos, protege-se categorias e grupos de pessoas (WOLKMER, 2013, p. 129).

Teubner (2006, p. 336-339) refere que, nos Direitos Humanos de Terceira Dimensão, a integridade do corpo e da mente dos indivíduos está em perigo, pois na medida em que outros meios comunicativos altamente especializados ganham autonomia, há a exigência de proteção contra a subjugação privada e a autonomia das liberdades comunicativas pessoais. Os avanços tecnológicos e a fragmentação da sociedade multiplicam as zonas de fronteira entre matrizes comunicativas autonomizadas e seres humanos e, como consequência, surgem perigos novos para a integridade do corpo e da mente. O risco à integridade física e mental não vem apenas da política, mas, em princípio, de todos os setores com tendências de expansionistas da tecnociência que buscam aproveitar todas as oportunidades para acumular conhecimentos, especialmente, como resultado da pressão da concorrência internacional, bem como das matrizes da ciência natural, da psicologia, das ciências sociais, da tecnologia, da medicina, dos meios de comunicação. A Terceira Dimensão dos Direitos Humanos passa a exigir o desenvolvimento de novos tipos de garantia que limitem o potencial destrutivo da comunicação fora da política institucionalizada contra corpo e mente (TEUBNER, 2006, p. 338-339).



Nos Direitos Humanos de Terceira Dimensão também estão incluídos os Direitos de solidariedade, Direitos da tecnologia, Direitos da sociedade global, haja vista que englobam os riscos de danos à saúde humana e ao meio ambiente, decorrentes do desenvolvimento desmedido e sem precaução dos mais variados setores industriais e da economia. Estes danos repercutem, por sua vez, no habitat humano e no equilíbrio psicossomático dos indivíduos (PÉREZ LUÑO, 2012, p. 20).

Juristas como Bobbio (1992, p. 6) argumentam que há uma quarta geração/dimensão de Direitos Humanos como resposta aos efeitos traumáticos das novas tecnologias resultantes dos avanços da biotecnologia, da informática e da regulação da engenharia genética. A intenção de Bobbio (1992, p. 6) ao elencar os Direitos de Quarta Geração é mostrar que os direitos não nascem todos de uma vez, são direitos históricos e sua evolução ocorre quando "aumenta o poder do homem sobre o homem" ou quando o ser humano "cria novas ameaças às liberdades do indivíduo, ou permite novos remédios para a suas indigências". Bobbio (1992, p. 6) alude que, embora se possa elencar cronologicamente as diferentes gerações de direitos, o importante é ter presente que suas espécies são sempre duas: "ou impedir os malefícios de tais poderes ou obter seus benefícios". Ao fazer tal afirmativa, conclui que tanto nos direitos de terceira como nos de quarta geração "podem existir direitos tanto de uma quanto de outra espécie" (BOBBIO, 1992, p. 6).

Oliveira Junior (2000, p. 99) compartilha que os Direitos Humanos são resultantes de uma construção histórica. Para o autor, além dos direitos de quarta dimensão, também é possível considerar direitos de quinta dimensão. Entre os Direitos Humanos de Quarta Dimensão estão os direitos que têm "vinculação direta com a vida humana, como a reprodução assistida, aborto, eutanásia, transplante de órgãos, engenharia genética e outros" (OLIVEIRA JUNIOR, 2000, 99-100). No conteúdo conceitual dos Direitos Humanos de Quinta Dimensão estão os direitos que emergem dos avanços da tecnologia da informação, da realidade



virtual, ciberespaço e os que decorrem da progressiva e contínua evolução da humanidade (WOLKMER, 2013, p. 133-134). Bonavides (2008, p. 91-92) insere o Direito à Paz como um Direito de Quinta Dimensão, com status de direito universal. Ao se posicionar que o Direito à Paz é um supremo direito da humanidade, Bonavides (2008, p. 93) objetiva tirar este direito da "obscuridade a que ficou confinado, enquanto direito esquecido de terceira dimensão". Outros ainda nomeiam uma sexta dimensão de Direitos Humanos ligada ao pluralismo, à democracia, à liberdade de informação, ao direito de informação, direito à água potável e ao saneamento público e à felicidade e uma sétima dimensão composta pelo direito à probidade administrativa e à boa administração pública.

Para os fins do presente estudo, é importante referenciar que as três primeiras dimensões de direitos se mostram pacificadas, não havendo divergência conceitual, enquanto sobre as demais dimensões (quarta, quinta, sexta e sétima) existem pontos de divergência e disparidades conceituais. À luz do exposto, a opção no presente estudo é trabalhar com os direitos decorrentes dos avanços das novas tecnologias como Direitos Humanos de Terceira Dimensão.

3 AS NANOTECNOLOGIAS E SEUS RISCOS DESCONHECIDOS

A nanotecnologia, reprodução assistida, clonagem, neurotecnologia, neuroprótese, ciborgues ou vida artificial, realidade virtual, diagnóstico genético, intervenção genética, DNA recombinante, inteligência artificial e a biologia sintética estão entre as razões que explicam o novo foco dos Direitos Humanos e dignidade humana nos discursos públicos, políticos e científicos, pelo potencial de provocar transformações radicais nos fundamentos biológicos da humanidade. Essa intervenção na essência do ser humano cria um novo pano de fundo para os conceitos



normativos de Direitos Humanos, direitos da dignidade individual e humana (ALBERS, 2018, p. 9).

As nanotecnologias se inserem no contexto das novas tecnologias em que a Ciência não tem respostas seguras sobre os riscos e perigos à saúde humana e ao meio ambiente. Responsáveis por processos revolucionários e de grande impacto em áreas como: fármacos, medicina, biotecnologia, agricultura, produção e conservação de alimentos, indústria química, agrotóxicos, fertilizantes, todos os campos da eletrônica e das engenharias, produção de nanomáquinas e nanorrobôs, interfaces elétrico-neurais, informática, indústria automotiva, indústria têxtil, indústria plástica, remediação ambiental, energia, enfim, as possibilidades das nanotecnologias são ilimitadas e seus avanços trazem benefícios, mas também riscos para a saúde humana e meio ambiente. Pela magnitude, probabilidade, globalidade e irreversibilidade dos riscos das nanotecnologias, pode-se dizer que o atual conhecimento científico não é suficiente para indicar o uso seguro.

Ao lado do desenvolvimento exponencial de novas funcionalidades e aplicações, as nanopartículas nanoengenheiradas indicam também que se está diante de um cenário de riscos para as presentes e futuras gerações, em que risco e incerteza andam lado a lado. As propriedades dos nanomateriais diferem significativamente das anteriores macroescalares. Em razão do seu tamanho "nano", os materiais com nanotecnologias têm capacidade de permeabilidade através da pele, mucosas e membranas celulares, causando um efeito tóxico magnificado (PASCHOALINO *et al.* 2010). Por isso, Riechman (2009, p. 267) tem razão ao dizer que a humanidade ingressou em território desconhecido sem ter investigado amplamente as propriedades das nanotecnologias, seus riscos e perigos para a saúde humana e meio ambiente.

São geralmente mais complexas do que nos outros produtos químicos a identificação e avaliação de perigos para os seres humanos e o meio ambiente devido às propriedades específicas dos nanomateriais



(ALEMANHA, 2013). Em 2013, a *National Nanotechnology Initiative* reconheceu que "[...] apesar de produtos entrarem no mercado global, ainda há dúvidas sobre os potenciais riscos e benefícios da nanotecnologia para os consumidores, trabalhadores e, mais genericamente, para a saúde humana e o meio ambiente".

Nanomateriais como ouro, prata, dióxido de titânio em nanopartículas, óxido de zinco, carbono (negro de fumo: borracha e tintas), amplamente utilizados para consumo já foram identificados pela *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos como "efetivamente prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, diante da possibilidade de persistência ou bioacumulação" (MARTINES; SANTOS; NOLASCO, 2016, p. 2453). Pesquisas realizadas com "camundongos que receberam nanotubos de carbono desenvolveram lesões biológicas semelhantes àquelas provocadas por inalação de amianto". De igual modo, também nos Estados Unidos, em 2014, o *National Research Council* alertou que "a caracterização dos riscos de nanomateriais artificiais em todo seu ciclo de vida é um desafio científico que exige abordagens científicas, quantitativas e sistemas integrados" (MARTINES; SANTOS; NOLASCO, 2016, p. 2454-2457).

Cientistas da Alemanha desenvolveram pesquisas para observar as metodologias aplicadas em vários países para avaliar os riscos das nanotecnologias em relação a nanomateriais já amplamente comercializados em escala industrial. De imediato, perceberam que as metodologias utilizadas não eram suficientes para avaliar os riscos para a saúde e o meio ambiente. Restou claro que os métodos de testes específicos para aplicações e produtos nanoengenheirados em todo seu ciclo de vida deveriam urgentemente ser ampliados e alterados para observar rigorosamente o comportamento das nanopartículas e seus efeitos nos sistemas biológicos. A necessidade de modificar e adicionar métodos de testes ambientais surge, principalmente, devido ao comportamento específico dos nanomateriais e como eles diferem neste



aspecto de produtos químicos orgânicos regulares. Essa constatação reflete a exigência de métodos normatizados para determinar a dissolução, aglomeração e degradação abiótica e transformação no ambiente (BAuA, 2016).

A compreensão e caracterização científica dos riscos de nanotecnologias com a utilização de métodos de ensaio requerem laboratórios especializados com equipamentos sofisticados, vastos conhecimentos interdisciplinares e muitos anos de experiência em manipulação e criação de nanopartículas. Ao longo do tempo, diversos laboratórios, universidades e institutos de pesquisa compilaram os procedimentos internos e elaboraram instruções com base em boas práticas de laboratório. Entretanto, a diversidade das abordagens e metodologias utilizadas por cada pesquisador ou grupo de pesquisadores prejudica a comparação entre os resultados e, conseqüentemente, a capacidade de impor requisitos legais. A harmonização requer a especificação precisa dos processos, parâmetros e procedimentos e testes extensos das nanopartículas utilizadas em suas diferentes aplicações e ciclo de vida para garantir a comparabilidade e reprodutibilidade nos procedimentos e instruções de trabalho. (BAuA, 2016).

Arranjos responsivos são essenciais quando se fala em risco e incerteza das nanotecnologias na saúde humana e no meio ambiente, visto que este novo campo de tecnologia até o momento tem gerado surpreendentemente pouca controvérsia ética e jurídica pública. Por outro lado, percebe-se uma tensão entre competitividade e valores éticos e sociais da inovação, bem como em relação aos seus indesejados e incertos riscos. Por isso, é um grande desafio a promoção de discussões sobre a inovação responsável e o estabelecimento reflexivo de estruturas para a avaliação das nanotecnologias. Condutas responsáveis nas nanotecnologias podem ser prudentes para os atores econômicos para que os produtos tenham aceitação do público e, portanto, pode ser visto



como um pré-requisito para negociações sobre os limites da inovação (LINGNER; WECKERT, 2016).

As nanotecnologias falham em não apontarem para discussões sobre questões éticas, como bem pontuam Pyrrho e Schramm (2012). Diferentemente dos avanços biotecnocientíficos anteriores e suas implicações éticas, a nanoética deverá debater temas sobre os limites das nanotecnologias, especialmente, sobre "as implicações éticas relacionadas às nanotecnologias: (a) a incerteza como característica epistêmica e (b) a ameaça ao presente caráter simbólico de código da vida do qual está imbuído o DNA" (PYRROH; SCHRAMM, 2012, p. 2027). As discussões sobre as consequências éticas não se referem tão-somente aos riscos para a saúde e meio ambiente. Para os autores, outras questões éticas exigem discussões profundas como as relativas "à equidade na distribuição dos benefícios e acesso aos avanços tecnocientíficos; implicações quanto à privacidade e segurança (equipamentos de monitoramento invisíveis e infinitas possibilidades para a indústria bélica)" e as "consequências sociais, culturais e econômicas da modificação da constituição de seres vivos". (PYRROH; SCHRAMM, 2012, p. 2025).

O que está em xeque "é a própria condição humana" e que "vida é esta a ser transformada" com as nanotecnologias. Não é somente a possibilidade de reconfiguração do ser humano "em condições externas tão passíveis de erros" que está em jogo, mas, principalmente, "a partir de dentro, da reestruturação da informação, das moléculas que a constituem" (PYRROH; SCHRAMM, 2012, p. 2026). Essa discussão não se dá apenas em relação às nanotecnologias. A terapia gênica também tem metas semelhantes e sem respostas éticas até o presente. Ambas discussões são "inegavelmente significativas do ponto de vista ético, pois pretendem agir na transformação da condição humana". Entretanto, o debate ético até o momento conseguiu avançar apenas nas "discussões sobre a análise de risco, a precaução, a necessidade de regulação e go-



vernança, o engajamento público e a reflexão epistêmica a respeito dos limites do conhecimento" (PYRROH; SCHRAMM, 2012, p. 2028).

Barretto (2008, p. 1017-1018) observa que "as novas tecnologias, especialmente aquelas relacionadas ao ser humano", têm desencadeado uma "insegurança jurídica e existencial à sociedade, seja em relação à eficiência do sistema jurídico (segurança jurídica e proteção da dignidade humana), seja em relação à própria existência da espécie humana".

Os riscos das novas tecnologias à essência do ser humano e seus fundamentos biológicos justamente remetem ao fato já muito discutido na academia de que a Ciência não consegue dar respostas seguras aos avanços gerados. O Direito também está passando por profundas mudanças e coloca em xeque o alicerce da certeza e da previsibilidade dos fatos nas normas. Assim, questiona-se: como o Direito poderá trabalhar neste panorama? Entende-se que é necessária uma readequação dos instrumentos jurídicos de garantia dos Direitos Humanos tendo em vista os novos riscos da tecnociência.

Nesse contexto, o Direito é desafiado para encaminhar uma discussão sobre como proteger o ser humano e o meio ambiente dos potenciais riscos das nanotecnologias. Com sua força coercitiva e disciplinatória, o Direito não tem respostas frente ao ineditismo e prematuridade do "conhecimento sobre os riscos advindos da utilização cada vez mais recorrente da nano escala", mas é convocado a decidir em cenário de incerteza científica. Tal fato faz com que o Direito acabe "expondo uma ausência de preceitos normativos que resguardem, em sentido preventivo, uma certa inadequação e descontrole negativos oriundos desta nova espécie de exploração tecnológica" (CARVALHO; BAHIA, 2019, p. 5). Contudo, é esperado do direito disciplinar os fatos nanotecnológicos que possam surgir em decorrência das aplicações e produtos nanoengenheirados.

Respostas científicas sobre os possíveis riscos das nanotecnologias associados à saúde humana e ao meio ambiente são cruciais para



a elaboração de instrumentos reguladores e de responsabilização pelos danos causados. O Direito tem um papel “essencial no combate ao risco de danos nanotecnológicos, uma vez que o planejamento jurídico pode contribuir para a produção sustentável dessa tecnologia”. O desafio para o Direito é promover diálogos transdisciplinares para a gestão dos riscos e para tomada de decisões “que objetivem erradicar ou pelo menos reduzir os efeitos dos novos riscos” (MARTINES; SANTOS; NOLASCO, 2016, p. 2463).

O tradicional modelo de direitos fundamentais (orientado para o Estado) na visão de Teubner (2006, p. 339) somente é eficaz se o Estado é identificado com a sociedade, ou se o Estado é considerado o ordenador da organização da sociedade. Contudo, o autor chama a atenção que a abordagem estatal fica muito aquém quando o Estado consente que os direitos fundamentais operem no setor privado apenas se a ação dele puder ser identificada. Para Teubner (2006, p. 339), a abordagem do poder econômico também é enganosa, por verem os direitos fundamentais apenas como uma resposta aos fenômenos de poder. Os mesmos problemas surgem em inúmeras instituições sociais, pois cada uma quer formar suas próprias fronteiras, não apenas política/indivíduo, mas também lei/indivíduo, ciência/indivíduo, medicina/indivíduo, economia/indivíduo. Tudo se resume a identificar as fronteiras, de modo a reconhecer as violações que colocam em risco a integridade humana por suas características essenciais, entretanto, Teubner (2006, p. 339) questiona: onde estão os pontos fronteirios?

Ocorre que a nanotecnologia avança com leis que possuem movimento próprio, o movimento das novas tecnologias. Hans Jonas (2013, p. 60) observa que a cada progresso da técnica o ser humano coloca-se no impulso de dar o passo seguinte e lega “esse mesmo impulso à prosperidade que, eventualmente, terá de pagar a conta”. Só esse elemento tirânico que faz “de nossas obras nossos senhores, estrangendo-nos a multiplicá-las sempre mais, representa um desafio ético por si mes-



mo". Quando os seres vivos se "convertem em objetos de experimentação [...] a busca pelo conhecimento perde sua inocência" e reflete na sua dignidade e na sacralidade da vida. E Jonas (2013, p. 61) é categórico ao afirmar que "nem o mais nobre dos fins desvincula esse ato da responsabilidade que há nele" e que a sociedade "não pode permitir-se nem um só assassinato judicial, nem uma só torção dos direitos, nem uma infração dos direitos humanos nem da mais mínima minoria", porque isso, no dizer do autor, "solapa a base moral sobre a qual repousa a existência da sociedade". E é neste sentido que Jonas (2013, p. 61) desenvolve o Princípio Responsabilidade.

O Princípio Responsabilidade desenvolvido por Jonas (2006, 272) acrescenta uma ideia de responsabilidade positiva para com o futuro. A ética da responsabilidade almeja lidar com o que ainda não existe (gerações futuras) e o "seu princípio da responsabilidade tem de ser independente tanto da ideia de um direito quanto da ideia de uma reciprocidade". A responsabilidade é uma função do poder e do saber, e a sociedade como um todo "é afetada por aquilo que a técnica libera no mundo" sem ter informações sobre os riscos e perigos. Responsabilidade é cuidado frente à ameaça das novas tecnologias, e quanto mais obscura a resposta sobre quem irá responder sobre os riscos, maior se delinea a responsabilidade (JONAS, 2006, p. 352).

Frente ao exposto, Engelmann (2011) aponta que o caminho a ser seguido para proteger as presentes e futuras gerações dos riscos nanotecnológicos é a refundação dos Direitos Humanos (ENGELMANN, 2011). Esta proteção deve estar fundamentada em nível global, incluindo, na Declaração dos Direitos Humanos, a necessária cautela e segurança no desenvolvimento da nanotecnologia, apresentando parâmetros para a responsabilidade ética e proteção do ser humano, quanto ao desenvolvimento tecnológico e científico (ENGELMANN; WILLIG, 2016, p. 189).



Portanto, diante das explicações realizadas, pode-se apontar que os Direitos Humanos não devem estar limitados à relação Estado/Indivíduo, deste modo, a abordagem global dos Direitos Humanos no cenário das novas tecnologias, especialmente as nanotecnologias, é de essencial importância, tendo em conta que as negociações são transnacionais, logo os danos são transterritoriais.

4 OS DIREITOS HUMANOS COMO BASE PARA A SEGURANÇA NO DESENVOLVIMENTO DAS NANOTECNOLOGIAS

A Declaração Universal dos Direitos Humanos (DUDH), ao centrar sua preocupação no direito à vida, à informação, ao bem-estar e na "dignidade inerente a todos membros da família humana e de seus direitos iguais e inalienáveis como fundamento da liberdade", demonstra sua preocupação também com os riscos das novas tecnologias. Em seu art. 3º, a DUDH preconiza que "todo ser humano tem direito à vida, à liberdade e à segurança pessoal" (ONU, 1948).

Nesse contexto, sempre que ocorre uma violação à seguridade e à liberdade de decidir do ser humano sobre produtos e aplicações com nanopartículas, o gozo dos direitos humanos está potencialmente em perigo. Uma situação que tem se apresentado é, por conseguinte, tomar decisões e negociar terapias e intervenções com nanofármacos, nanomedicina e nanorrobôs sem informações sobre as consequências e riscos, tanto para a saúde como em relação aos possíveis riscos e reflexos na sustentabilidade ambiental. A mesma situação pode também afetar os direitos humanos quando os avanços das nanotecnologias estão disponíveis apenas para um grupo de pessoas com recursos financeiros para se submeter às novas terapias e, ao lado, uma grande parcela da população é discriminada e sem acesso a um tratamento digno, ou, ainda, quando as novas tecnologias não se voltam para doenças negligenciadas colocando o direito à vida em perigo.



Castán (2014) compartilha que há uma dualidade que permeia as novas tecnologias. De um lado, as novas tecnologias são benéficas para a humanidade e, por outro lado, podem trazer riscos irreversíveis, trans-territoriais e transgeracionais. Frente à ambivalência ou à dupla face – positiva e negativa – dos novos avanços científicos e tecnológicos, a primazia da dignidade da pessoa humana deve estar assegurada diante de qualquer medida ou ação que possa atentar contra a mesma. A dignidade fundamenta inquestionavelmente os direitos humanos promulgados na DUDH e se posiciona como o núcleo fundamental da ideia de direitos humanos do mundo contemporâneo. É um conceito aberto que internaliza “múltiplas dimensões e projeções e que se manifesta, precisamente, na presença dos direitos declarados”. Para ser operacional no campo da bioética, a dignidade também é essencialmente jurídica e necessita da ajuda de outros conceitos mais específicos, como o de liberdade, que, por exemplo, é necessário para exercitar o consentimento informado, a integridade física, a não discriminação, entre outros. A dignidade é o fundamento dos Direitos Humanos de terceira dimensão relacionados ao direito de ser informado, à liberdade de informação, aos avanços da nanotecnologia, aos avanços da biotecnologia em relação à manipulação genética, qualidade de vida e ao direito dos consumidores (CASTÁN, 2014).

O paradoxo da sociedade atual está em que nenhum país sozinho vai responder pelos riscos das nanotecnologias. Não fomentar controvérsias entre os sistemas da ciência, da economia e da política favoreceu a cultura do silêncio das leis e de protocolos éticos-legais sobre lacunas e responsabilização pelo risco do desenvolvimento. Pouco se diz sobre os custos sociais e sobre os potenciais riscos. Contudo, as nanopartículas estão presentes em inúmeros produtos que o ser humano consome de inúmeras formas e são comercializados livremente no mercado global, o que significa dizer que não existem fronteiras quando se fala em nanotecnologia. Dito de outro modo, elas viajam sem bar-



reiras entre países, são invisíveis e estão integradas nos mais diversos setores econômicos e da saúde. Se alguma coisa der errado, os danos são socializados. Razão pela qual recuperar a responsabilidade e refundar os Direitos Humanos podem ser tarefas para uma nova governança mundial em torno das nanotecnologias.

Os Direitos de Terceira Dimensão, como já exposto no início do presente estudo, contemplam a necessária vigilância em relação às potencialidades de riscos e danos apresentados pelas novas tecnologias que podem interferir na integridade corpo e mente. Metodologias precaucionais, de avaliação de risco e de monitoramento constante dos impactos socioambientais dos produtos e aplicações com nanopartículas lançadas no mercado exigem um Direito global vigilante e cuidadoso com a esfera da dignidade humana.

À luz do que precede, resulta claro que, dada a multiplicidade de produtos e aplicações com nanopartículas nanoengenheiradas em praticamente todos os setores da economia e da saúde, urge mecanismos internacionais de regulação e uma governança responsável e transparente para a proteção dos direitos humanos impactados com essa nova tecnologia. No tocante a uma governança internacional para as nanotecnologias, ela pode significar a consolidação de metodologias, protocolos, instrumentos de avaliação de riscos, monitoramento contínuo dos produtos nanoengenheirados em todo seu ciclo de vida, responsabilidade pela inovação, intercâmbio de informações e transparência na comunicação com o propósito principal de proteção ao ser humano e ao meio ambiente. Não atentar para os riscos das nanotecnologias e para a voracidade do sistema da ciência e do sistema econômico em lançar diariamente novos produtos com nanopartículas pode ser considerado uma forma de violação aos Direitos Humanos. Para enfrentar esse desafio, uma das formas é exigir parcela significativa de recursos dos empreendedores para monitorar os nanoproductos lançados no mercado interno e no mercado globalizado, como a criação de uma



espécie de fundo para riscos potenciais, como resposta à necessidade de um reposicionamento ético alargado. De igual forma, responsabilizá-los pela observância dos Direitos Humanos inclusive para as próximas gerações e exigir um reposicionamento ético alargado.

Dever de cuidado, regulação, fiscalização, monitoramento constante dos produtos e aplicações com nanopartículas nanoengenheiradas são desafios constantes e que devem pontuar a preocupação com os Direitos Humanos. O passo seguinte a ser dado é uma governança global antecipatória, transdisciplinar e fundamentada na gestão de riscos com a participação ativa do sistema político internacional, sistema econômico, sistema jurídico e, principalmente, apoiado na investigação e inovação responsável e nos Direitos Humanos. Um dos principais desafios é construir uma governança global sobre nanotecnologia se o que prevalece é a ordem jurídica do mercado com o superpoder de ser produtor de direito.

Abbott, Marchant e Sylvester (2010, p. 535) observam que muito se tem discutido sobre harmonização, coordenação e regulação para as novas tecnologias. As expressões harmonização e coordenação têm em comum uma ampla gama de mecanismos de colaboração entre Estados, como: tratados internacionais, diálogo entre os reguladores nacionais com objetivos de promover abordagens regulatórias consistentes, adoção de regras idênticas por jurisdições participantes, acordos para atenderem um conjunto de requisitos mínimos ou máximos, adoção de acordos que não entrem em conflitos com o modelo internacional. A expressão "regulamento" é reconhecida por estudiosos como um mecanismo que engloba intervenções sociais muito mais amplas do que o modelo de Estado de bem-estar, das normas de comando e controle, construído em torno de leis imperativas e com requisitos específicos ou proibições. Cada vez mais, um número crescente de sistemas regulamentares é construído como técnicas universais de gestão pelo setor privado, entre elas citam-se as normas ISO, o *Forest Stewardship Coun-*



cil e a Responsabilidade Social Internacional, que definem normas de condutas para as empresas e organizações. Os regulamentos representam normativas para além das intervenções patrocinadas pelo Estado e podem favorecer o paradigma da governança sobre a regulamentação tradicional (ABBOTT; MARCHANT; SYLVESTER, 2010, p. 535).

O desafio está em avançar para uma *governança* das nanotecnologias e produzir modelos de autorregulação regulada. Importante referenciar que não se está defendendo que a função regulatória migre para os atores privados. Essa é uma forma de regulação que pode ser muito interessante se atendidos alguns pressupostos mínimos, representados pelo conteúdo dos Direitos Humanos, como uma possibilidade ou um *locus* para a estruturação de novas questões éticas (JONAS, 2014, p. 37-47).

Os Direitos Humanos de Terceira Dimensão necessitam de novos conceitos com vistas à comunicação entre o sistema da economia, da política, do direito e das ciências. Esse Direito seria um Direito comum e pluralista (DELMAS-MARTY, 2003, p. 04). As transformações operadas pelas novas tecnologias exigem uma mudança na forma de funcionamento da sociedade global e os Direitos Humanos de Terceira Dimensão apontam essa mudança evolutiva (WOLKMER, 2013, p. 129). Não é substituir ou alterar os direitos de tempos em tempos, mas atualizá-los e complementá-los permanentemente a partir dos desafios e da complexidade que as novas tecnologias demandam (WOLKMER, 2013, p. 129-131).

Como já observado, as nanotecnologias carregam riscos imprevisíveis e que estão a exigir uma reformulação das práticas e procedimentos adotados. O avanço deve ser responsável e estar sintonizado com metodologias de avaliação de potenciais efeitos ambientais e humanos destes novos produtos. Ademais, as metodologias de avaliação de riscos precisam ser cientificamente confiáveis, aceitáveis e padronizadas. Nesta lógica, o Direito precisa reestruturar-se para permitir-se acompa-



nhar estas evoluções (ENGELMANN, 2016). Com isso, entende-se que o princípio da precaução, prevenção e o princípio responsabilidade precisam ser invocados para antecipar potenciais riscos e o Direito não pode operar somente para reparar os acontecimentos passados.

O Sistema do Direito se tornou extremamente complexo por vários aspectos, como: a heterogeneidade dos valores de referência, a virtualização dos territórios, os níveis de decisões entrelaçados (conforme a descentralização), o pluralismo das fontes (supranacionalidade, internacionalização), a interação entre os sistemas normativos, a fluidez da norma e, em especial, os riscos globais das novas tecnologias e as dificuldades de comunicação entre os diferentes sistemas. O Direito passou de um "direito 'relógio' para um direito 'nuvem' e os impactos das evoluções tecnocientíficas são complexos e fascinantes sem que o direito esteja preparado para decidir" (BOURCIER, 2009, p. 382).

Para avançar, é preciso aceitar que a compreensão dos riscos das nanotecnologias exige um pensamento complexo, uma visão sistêmica e holística. É dar-se conta que as decisões refletem dinâmicas espaço-temporais e exigem dos atores contribuições interdisciplinares para capturar os problemas complexos, as dimensões de suas interações no organismo humano e no meio ambiental, tudo isso pautado na busca da construção de novas lógicas de intervenção e de inteligibilidade. A abordagem complexa fulcrada na inter/multidisciplinaridade aparece como um caminho promissor (AMBRÓSIO, 2009, p. 489). "É preciso assumir a confrontação da cultura de peritos e da cultura sistêmica e complexa das lógicas políticas, de governo, aos níveis local, nacional e global". É este o desafio ético proposto que parte "da cooperação, da mediação, da participação" e que responde quando a lógica "dos processos econômicos, tecnológicos, científicos" entram em colapso e "em ruptura com os processos de integração do paradigma sistêmico, obrigando-nos à sua confrontação com outros modelos de desenvolvimento humano, social, sustentável" (AMBRÓSIO, 2009, p. 489). O Direito carece de



outros quadros epistemológicos para compreender a lógica econômica, política, social das novas tecnologias e seus reflexos no ser humano.

Este rompimento de paradigma do Sistema Jurídico é necessário. Nesta lógica, o Direito não se fundamenta apenas na lei para tomar decisões. Sua decisão é o resultado de inúmeras fontes de Direito, de conhecimento científico, de acordos/declarações internacionais e nacionais, dentre outras. Razão pela qual, "a complexidade da produção de sentido do Direito como paradoxo torna-se, assim, uma condição para a observação da comunicação do Direito", pois é uma das características mais importantes da sociedade atual (ROCHA; MARTINI, 2016, p. 57-59). Neste liame, o Direito reconhecido como sistema operativamente fechado e cognitivamente aberto precisa abrir-se a estas novas fontes de conhecimento para as suas decisões e partir para um novo modelo de sistema aberto.

Assim, o Direito passa a ser um sistema transdisciplinar, plural, flexível, dinâmico, com o objetivo de emitir respostas atualizadas e inovadoras para os problemas inovadores das nanotecnologias. Desse modo, as deliberações oriundas dos estudos transdisciplinares devem "levar em consideração a razoabilidade prática, a fim de apontar decisões adequadas e outras que não deverão ser praticadas, posto contrárias ao pleno florescimento humano, dentro do espaço privilegiado formado pelos Direitos Humanos" (ENGELMANN, 2010, p. 249-265). Como já referenciado, este Direito modernizado precisa estar aclarado pelos princípios que visam à proteção dos seres humanos (direitos fundamentais e dignidade) e do meio ambiente (sustentabilidade) (ENGELMANN, 2014, p. 339-359).

Avançar na proteção dos Direitos Humanos frente à nanotecnologia exige um pacto internacional. Discutir tal pacto pode contribuir com a criação de uma estrutura global regulatória sobre segurança dos produtos e aplicações com nanotecnologia, gestão de riscos, mitigação dos perigos à saúde humana e meio ambiente, comunicação do risco e



responsabilização por potenciais danos. Também, poderá servir para a organização de um acordo/tratado/declaração internacional a respeito da segurança nos avanços das pesquisas, desenvolvimento, fabricação, comercialização e disposição final ambientalmente adequada dos produtos com nanotecnologias.

Estes parâmetros de decisão devem permitir sempre se reatualizar conforme as novas descobertas ocorrem, o que gera experiência a respeito dos riscos e gestão destes. Para tal, é importante se compreender que, assim como as nanotecnologias são positivamente inovadoras, podem também gerar danos com alta capacidade destrutiva. Logo, estes riscos devem ser geridos para se evitar os danos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As nanotecnologias crescem em escala exponencial em uma ampla e diversificada gama de produtos e aplicações com perspectivas econômicas altamente promissoras para países e empresas vitaminadas pela imagem positiva do seu poder transformador em todas as áreas. Por outro lado, as preocupações com a incerteza em relação aos riscos de danos graves ou irreversíveis para o meio ambiente e saúde humana têm se acentuado a cada novo produto lançado no mercado, exigindo uma abordagem global. Não se pode ficar à espera de que cada Estado crie normas internas, visto que os riscos possuem características transnacionais e provavelmente transtemporais, o que pode resultar em impactos sem possibilidade de retorno. Na revolução invisível das nanotecnologias, os riscos podem ser importados ou exportados no mundo globalizado, como também não há prova científica de que não há perigo e riscos futuros envolvidos.

Uma regulação global deve partir dos ditames dos Direitos Humanos para propiciar novos diálogos a respeito das investigações de risco, no cenário internacional e no cenário interno, e pode contribuir



para a flexibilização do Direito que deverá abrir-se às novas fontes de conhecimento (transdisciplinaridade) com intuito de emitir respostas antecipatórias, precaucionais e sintonizadas com os avanços das nanotecnologias em prol da proteção humana e ambiental. Regular globalmente as nanotecnologias não significa cercear o desenvolvimento de produtos e aplicações com partículas nanoestruturadas, mas garantir que essa tecnologia seja utilizada em benefício do ser humano e que seja ambientalmente sustentável.

Observou-se que os Direitos Humanos de Terceira Dimensão, justamente, estão centrados na vigilância e cuidado quanto à possibilidade de riscos e danos irreparáveis à integridade corpo e mente dos seres humanos. Por isso, proteger as presentes e futuras gerações de potenciais riscos nanotecnológicos deve partir de uma discussão internacional, devendo estar alicerçada nos Direitos Humanos, e não interna, isoladamente nacional, uma vez que o ser humano vive em uma sociedade global e interconectada, e os riscos viajam livremente nos produtos comercializados no mercado econômico global.

Portanto, visto que os atuais modelos legislativos não dão conta dos riscos abstratos, invisíveis, transgeracionais e transterritoriais das nanotecnologias, aponta-se no presente estudo que a discussão sobre um novo modelo de regulação, fundamentado nos Direitos Humanos na sua Terceira Dimensão, deve ser global, com a participação de diferentes atores. Novas tecnologias, como as capitaneadas pelas nanotecnologias, pela sua dinamicidade e facilidade de integrarem-se a diferentes materiais e com propriedades totalmente revolucionárias, exigem metodologias de rastreabilidade dos potenciais riscos e instrumentos reguladores internacionais de mitigação e responsabilização, alicerçados em preceitos flexíveis, globais, transdisciplinares, tendo como fundamento nuclear os Direitos Humanos.

Além disso, o respeito pleno à dignidade da pessoa humana, às liberdades fundamentais, aos direitos humanos, ao bem-estar humano



frente aos riscos e perigos das nanotecnologias e aos interesses exclusivos do mercado e da ciência são premissas básicas e devem constituir o fundamento último do avanço tecnocientífico. Essa quebra de paradigmas no direito internacional contemporâneo frente às novas tecnologias estão a exigir uma governança internacional para a nanotecnologia, com o conseqüente reconhecimento do lugar primeiro e de protagonismo do ser humano como sujeito de direito internacional, alicerçado na ideia de dignidade, de limites da ciência e de responsabilidade.

REFERÊNCIAS

ALBERS, Marion. Biotechnologies and Human Dignity. **RDU**, Porto Alegre, v. 15, n. 82, p. 9-49, jul./ago. 2018. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/direitopublico/article/viewFile/3278/pdf>. Acesso em: 06 maio 2021.

ABBOTT, K. W.; MARCHANT, G. E.; SYLVESTER, D. J. Transnational regulation of nano-technology: reality or romanticism? *In*: HODGE, G. A.; BOWMAN, D. M.; MAYNARD, A. D. (Eds.). **International Handbook on Regulating Nanotechnology**. Cheltenham: Edward Elgar, 2010.

ALEMANHA. UMWELTBUNDESAMT. **Nanotechnologie** - Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien, 2013.

AMBRÓSIO, Teresa. Formação: inscrever na sociedade os caminhos da auto-organização. *In*: MORIN, Edgar; MOIGNE, Jean-Louis Le. **Inteligência da Complexidade Epistemológica e Pragmática**. Tradução de João Duarte. Lisboa: Instituto Piaget, 2009.

BARRETTO, Vicente de Paulo. O "admirável mundo novo" e a teoria da responsabilidade. *In*: TEPEDINO, Gustavo; FACHIN, Luiz Edson (Coords.). **O Direito e o Tempo: embates jurídicos e utopias contemporâneas**. Estudos em homenagem ao Professor Ricardo Pereira Lira. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.



BOBBIO, Norberto. **A Era dos Direitos**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

BOLSAN DE MORAIS, José Luis. **As crises do Estado e da Constituição e a Transformação Espacial dos Direitos Humanos**. 2. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2012.

BONAVIDES, Paulo. A Quinta Geração de Direitos Fundamentais. **Direitos Fundamentais & Justiça**, n. 3, p. 82-93, abr./jun. 2008.

BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAuA). Nanomaterials and other advanced materials: Application safety and environmental compatibility. **Review of the joint research strategy of the higher federal authorities**. 2016. Disponível em: <https://www.baua.de/EN/Service/Publications/Cooperation/Nanomaterials-9.html>. Acesso em: 21 maio 2021.

BOURCIER, Daniéle. Os aspectos judiciais face a complexidade do Direito. *In*: MORIN, Edgar; MOIGNE, Jean-Louis Le. **Inteligência da Complexidade Epistemológica e Pragmática**. Tradução de João Duarte. Lisboa: Instituto Piaget, 2009.

CARVALHO, Ester de; BAHIA, Carolina Medeiros. A nanotecnologia e seus riscos desconhecidos: reflexões acerca da necessidade de um novo pensar sobre o Direito. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 14, n. 2, p. 1-31, 2019. DOI: 10.5902/1981369430985. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/view/30985/pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

CASTÁN, María Luisa Marín. En torno a la dignidad humana como fundamento de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO. **Revista de Bioética y Derecho**, n. 31, p. 17-37, mayo 2014. Disponível em: <http://revistes.ub.edu/index.php/RBD/article/view/10436>. Acesso em: 21 maio 2021.



CHACON, Mario Pena; CRUZ, Ingrid Fournier. Derechos Humanos y Medio Ambiente. *In*: BENJAMIN, Antônio Herman V.; MILARÉ, Edis (coord). **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, n. 39, ano 10, 2005.

COMPARATO, Fábio Konder. **A afirmação histórica dos direitos humanos**. 12. ed. São Paulo: Saraiva, 2018.

DELMAS-MARTY, Mireille. **Três desafios para um direito mundial**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2003.

DWORKIN, Ronald. **Levando os Direitos a Sério**. Tradução: Nelson Boeira. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

ENGELMANN, Wilson. A Nanotecnociência como uma Revolução Científica: os Direitos Humanos e uma (nova) filosofia na Ciência. *In*: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (Orgs.). **Constituição, Sistemas Sociais e Hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: Mestrado e Doutorado. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010.

ENGELMANN, Wilson. As Nanotecnologias e a Gestão Transdisciplinar da Inovação. *In*: ENGELMANN, Wilson (Org.). **As Novas Tecnologias e os Direitos Humanos**: os desafios e as possibilidades para construir uma perspectiva transdisciplinar. Pinhais: Honoris Causa, 2011.

ENGELMANN, Wilson. O direito das nanotecnologias e a (necessária) reconstrução dos elementos estruturantes da categoria do "direito subjetivo". *In*: STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo; ENGELMANN, Wilson (Orgs.). **Constituição, Sistemas Sociais e Hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: Mestrado e Doutorado. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2014.

ENGELMANN, Wilson. O Direito face as Nanotecnologias: novos desafios para a teoria jurídica no século XXI. *In*: WOLKMER, Antonio Carlos; LEITE, José Rubens Morato (Orgs.). **Os "Novos" Direitos no Brasil**: natureza e perspectivas. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.



ENGELMANN, Wilson; WILLIG, Júnior Roberto. **Inovação no Brasil:** entre os riscos e o marco regulatório. Jundiaí: Paco Editorial, 2016.

JONAS, Hans. **O Princípio Responsabilidade:** ensaio de uma ética para a civilização tecnológica. Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

JONAS, Hans. Technology and responsibility: reflections on the new tasks of ethics. In: SANDLER, Ronald L. (Edi.). **Ethics and emerging technologies.** New York: Palgrave Macmillan, 2014.

JONAS, Hans. **Técnica, Medicina e Ética:** sobre a prática do Princípio Responsabilidade. São Paulo: Paulus, 2013.

LIMA, Fernanda da Silva; FRUTUOSO, Paula Keller. Direitos Humanos, Interculturalidade e Questão Racial. **Prim Facie**, [S. l.], v. 17, n. 36, p. 01–27, 2018. DOI: 10.22478/ufpb.1678-2593.2018v17n36.41343. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/primafacie/article/view/41343>. Acesso em: 21 maio 2021.

LINGNER, Stephan; WECKERT, John. Nanoscale-Technologies as Subjects of Responsible Research and Innovation. **Nanoethics**, v.10, p.173–176, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11569-016-0269-y>. Acesso em: 20 maio 2021.

MARTINES, Marco Antonio Utrera; SANTOS, Nivaldo dos; NOLASCO, Loreci Gottschalk. Propostas Estratégicas de Gestão de Riscos para a Nanotecnologia. **Quaestio Iuris**, Rio de Janeiro, v. 09, n. 04, p. 2450–2488, 2016. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/quaestioiuris/article/view/22064>. Acesso em: 21 maio 2021.

OLIVEIRA JUNIOR, José Alcebíades. **Teoria Jurídica e Novos Direitos.** Rio de Janeiro: Lumem Juris, 2000.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). 1948. **Declaração Universal dos Direitos Humanos.** Ratificada pela ONU em 10 de dezembro de 1948. Disponível em: <http://www.onu.org.br/img/2014/09/DUDH.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.



PASCHOALINO, Matheus *et al.* Os nanomateriais e a questão ambiental. **Revista Química Nova**, v. 33, n.2, p.421-430, 2010. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=5195. Acesso em: 19 maio 2021.

PÉREZ LUÑO, Antonio Enrique. **Los derechos humanos en la sociedad de tecnológica**. Madrid: Universitas, 2012.

PÉREZ LUÑO, Antonio-Enrique. Derechos humanos y constitucionalismo en la actualidad: ¿continuidad o cambio de paradigma? *In*: PÉREZ LUÑO, Antonio-Enrique (Org.). **Derechos humanos y constitucionalismo ante el tercer milenio**. Madrid: Marcial Pons, 1996.

PYRRHO, Monique; SCHRAMM, Fermin Roland. A moralidade da nanotecnologia. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 28(11):2023-2033, nov, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2012001100002&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 maio 2021.

RIECHMAN, Jorge. Eros antes que Prometeo. Reconsideración de la filosofía de la tecnología de Ortega: Una relectura de su Meditación a la Técnica desde el principio de la biomímesis. **Estudios Sociales**, v. 17, n. 34, p. 252-275, jul./dic. 2009.

ROCHA, Leonel Severo; MARTINI, Sandra Regina. **Teoria e prática dos sistemas sociais e direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2016.

SARLET, Ingo Wolfgang. **A Eficácia dos Direitos Fundamentais**: uma teoria geral dos direitos fundamentais perspectiva constitucional. 12. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2015.

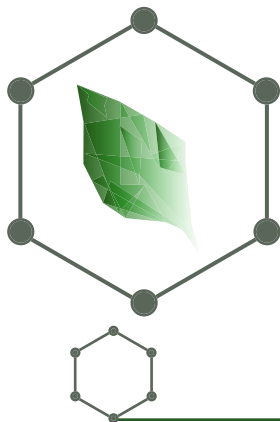
STATNANO. Nanotechnology Products Database. **Introduction**. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 19 maio 2021.



TEUBNER, Gunther. The anonymous matrix: human rights violations by 'private' transnational actors. **The Modern Law Review**, v. 69, p. 327–346, 2006, Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=893106>. Acesso em: 12 abr. 2021.

WEYERMÜLLER, André Rafael. **Refugiados na Alemanha**: história, direitos humanos e adaptação. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2018.

WOLKMER, Antonio Carlos. Introdução aos fundamentos de uma Teoria Geral dos "Novos" Direitos. **Revista Jurídica Unicritiba**, v. 2, n. 22, p. 121-148, 2013. Disponível em: <http://revista.unicritiba.edu.br/index.php/RevJur/article/view/593/454>. Acesso em: 19 maio 2021.



O HIBRIDISMO NORMATIVO E A POSSIBILIDADE DE GESTÃO DE POSSÍVEIS RISCOS¹

**Wilson Engelmann
Patricia Santos Martins**



1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo busca promover reflexões acerca das nanotecnologias, expandindo os benefícios de suas aplicações para a concretização de direitos, utilizando o fundamento teórico do hibridismo normativo para informar ao Direito os mecanismos possíveis de serem utilizados como interface, para promover o ambiente normativo convergente com os interesses nos benefícios das aplicações e, ao mesmo tempo, a adequada gestão dos prováveis riscos.

¹ Resultado parcial das investigações desenvolvidas pelos autores no âmbito dos seguintes projetos de pesquisa: a) Edital 02/2017 – Pesquisador Gaúcho – PqG: Título do Projeto: “A autorregulação da destinação final dos resíduos nanotecnológicos”, com apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS; b) Chamada CNPq n. 12/2017 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ, projeto intitulado: “As nanotecnologias e suas aplicações no meio ambiente: entre os riscos e a autorregulação”; c) Chamada MCTIC/CNPq N° 28/2018 - Universal/Faixa C, projeto intitulado: “Nanotecnologias e Direitos Humanos observados a partir dos riscos no panorama da comunicação entre o Ambiente Regulatório e o Sistema da Ciência”; d) “Sistema do Direito, novas tecnologias, globalização e o constitucionalismo contemporâneo: desafios e perspectivas”, Edital FAPERGS/CAPES 06/2018 – Programa de Internacionalização da Pós-Graduação no RS. O trabalho aqui apresentado também está vinculado à pesquisa realizada pelos autores no CEDIS – Centro de I & D sobre Direito e Sociedade, da Faculdade de Direito da Universidade Nova de Lisboa, Portugal, e da investigação desenvolvida pelos autores junto ao Instituto Jurídico Portucalense, da Universidade Portucalense, Porto, Portugal.



Para alcançar este desiderato, estabelece-se o seguinte problema de pesquisa: "quais condições normativas podem ser utilizadas como instrumentos jurídicos aptos a assegurar que o desenvolvimento nanotecnológico concretize direitos de forma a reduzir ou possibilitar a adequada gestão de riscos?" Acredita-se que o caminho para responder a esta questão deverá passar pelos seguintes pontos: identificar o fenômeno nanotecnológico, suas aplicações e as conexões dessas aplicações com direitos assegurados, como: a saúde, acesso à água e saneamento, segurança alimentar, dentre outros. Outro ponto que poderá ser resposta ao questionamento são as abordagens de autorregulação dentro do ambiente das empresas e as interfaces da autorregulação com o Direito, envolvendo também a adoção de mecanismos de gestão de processos que tenham por mote a gestão dos processos decisórios que identificam, informam e tratam os possíveis riscos.

As nanotecnologias, que são as diversas técnicas que permitem ao homem adentrar a escala equivalente a uma bilionésima parte de um metro, representada pela equação 10^{-9} , são responsáveis por uma parcela significativa de produtos disponíveis no mercado consumidor, abarcando produtos desde eletrônicos, componentes veiculares, tintas e químicos, agroquímicos, embalagens, medicamentos e produtos de utilização médica até têxteis, dentre uma infinidade de outras aplicações para consumo humano direto e indireto. Em razão do efetivo consumo destes produtos, importa refletir quais os elementos normativos, utilizados para assegurar que este desenvolvimento não esteja produzindo um efeito rebote futuro, cujo preço será pago pelas próximas gerações, e quais condutas podem ser adotadas hoje, para que futuramente os processos decisórios envolvendo as probabilidades de risco estejam informados com dados obtidos no curso do desenvolvimento e possam ser eficazes no tratamento das consequências da atual empreitada humana em nanoescala.



Com a utilização da metodologia fenomenológica construtivista, através da técnica de pesquisa de revisão bibliográfica a textos legislativos, artigos publicados por diferentes áreas da ciência e fundamentação teórica nos dizeres de Benoit Frydman, pretende-se apresentar a interface possível de ser empregada pelo Direito com outros sistemas de normalização, produzidos por diversos atores de normalização técnica para que o desenvolvimento nanotecnológico beneficie a humanidade com a adequada gestão dos possíveis riscos.

2 AS NANOTECNOLOGIAS A SERVIÇO DA CONCRETIZAÇÃO DE DIREITOS

As nanotecnologias dizem respeito ao emprego de diversas técnicas que possibilitam ao homem manipular a matéria em uma escala equivalente a uma bilionésima parte de um metro, representada na equação 10^{-9} , e provocam alterações substanciais nos materiais, que passam a ter comportamentos diversos daqueles conhecidos em escala normal. As especificações sobre o tamanho que pode estar incluído dentro da nanoescala não são absolutas, podendo variar em razão do design, superfície e solubilidade (MARTINS, 2016, p. 29).

Tem por principal característica a transdisciplinaridade, abarca o conhecimento produzido por diversas áreas da ciência, como a química, a biologia, ciência dos materiais e a física, e permite essencialmente duas abordagens para engenheirar estruturas em nanoescala: o *bottom-up* e o *top-down*. Com relação à primeira técnica, pode-se construir as nanoestruturas a partir de átomos e moléculas individuais e, na segunda, produz-se uma desconstrução do material que está em escala macro até obter a nanoestrutura (SILVA, 2014, p. 1).

A partir desta interação humana na nanoescala e em face do comportamento dos materiais que passam a se comportar de forma diversa do que em escala macro, é possível obter materiais mais resistentes,



eficientes e utilizar os resultados em diversas aplicações. A base de dados StatNano compila os dados de produtos por área de aplicação, registrados em diversos países: até o momento constam 9.273 produtos, produzidos em 2.674 empresas, em 64 países. Dentre as aplicações, observa-se divisão por área: cosméticos, agricultura, automotivo, construção, eletrônicos, meio ambiente, comida, eletrodomésticos, medicamentos, têxtil, petróleo, impressão, energias renováveis e esporte e fitness. As duas áreas que mais registram produtos são a de medicamentos (1.123 produtos) e eletrônicos (1.936 produtos). Alimentos participa até o momento com 358 produtos, a linha de agricultura com 232 produtos e cosméticos com 893 produtos registrados (STATNANO, DataBase, 2021).

Encontram-se, dentro das aplicações que envolvem a linha dos fármacos e medicamentos, imunizantes contra Covid-19, medicações para tratamentos de câncer e até registros de máscaras de proteção. Tais aplicações demonstram a preocupação com a finalidade das recentes descobertas da escala nanométrica, para que os benefícios deste desenvolvimento possam representar a solução para inúmeros problemas que assolam a humanidade.

O câncer ainda hoje é a principal causa de morte e representa um obstáculo para o aumento da expectativa de vida em escala global. Dados publicados pela Agência Internacional para Pesquisa em Câncer (IARC) sobre a expectativa de diagnósticos de câncer em 2020 apontam para 19 milhões de casos de câncer em todo o mundo, com 10 milhões de mortes. No Brasil, o número de novos casos foi de 522.212, com aproximadamente 260.000 mortes (ARRAES, 2021).

Com isso, é possível dizer que a aplicação em nanofármacos e medicamentos sinalizam a esperança de que direitos como a saúde, o acesso à água e segurança alimentar, entre outros possam ser mais facilmente concretizados.



Ocorre que, ao mesmo tempo que se percebe o potencial das nanotecnologias para resolver grandes problemas, existem indicadores sobre toxicidade que merecem atenção. Segundo Silva (SILVA, 2014, p. 1), inúmeras são as rotas químicas para realizar a síntese dos materiais nanoestruturados, entretanto, a grande maioria dos "métodos inclui a utilização de solventes tóxicos, a geração de resíduos nocivos para a saúde e meio ambiente, além de resultar em um consumo de energia alto, em rotas geralmente complexas e com múltiplos passos". Pesquisas dessa ordem evidenciam a possibilidade de que o resultado do emprego das nanotecnologias possa trazer riscos à saúde e prejuízos ao meio ambiente, em lugar de beneficiar a humanidade com a solução para inúmeros problemas.

Um grupo de cientistas da Academia Russa de Ciências identificou processos pelos quais nanopartículas orgânicas e inorgânicas do ambiente entram no cérebro. As pesquisas foram realizadas a partir da utilização de métodos de aspiração nasal e, segundo Moshkin (MOSHKIN/LQES, 2020), diretor do Centro de Recursos Genéticos de Animais de Laboratório do ICG SB RAS: "Há um grande número de nanopartículas de uma ampla variedade de elementos químicos e seus compostos no meio ambiente, variando de inofensivos a tóxicos, por exemplo, óxidos de metais pesados", que representam riscos à saúde humana e meio ambiente. A partir dos resultados, observou-se que determinados nanocompósitos adentram com maior permeabilidade nos tecidos nervosos cerebrais, enquanto outros são bloqueados pelas barreiras celulares, o que impede o livre trânsito.

O grande desafio está em enfrentar o percurso do desenvolvimento com foco nos benefícios sem descuidar da possibilidade destes resultados indesejados, especialmente sobre toxicidade e bioacumulação.

Na busca de alternativas que reduzam a toxicidade, já existem pesquisas que buscam obter nanossistemas de ampla aplicabilidade



tecnológica que supere os desafios da síntese tradicional, por meio de uma abordagem chamada síntese verde, que designa as "rotas de síntese que utilizam produtos químicos atóxicos, biodegradáveis e de baixo custo para sintetizar nanomateriais" (SILVA, 2014, p.2-3). A exploração dessas rotas de síntese verde abre espaço para um ambiente de desenvolvimento com melhores parâmetros, em pesquisa, quanto à segurança dos nanomateriais, quanto a aspectos de toxicidade.

Entretanto, há que se salientar que, atualmente, também existe um espaço normativo aberto que possibilita uma discricionariedade nos processos decisivos empresariais sobre a adoção destas práticas sustentáveis. Logo, o Direito tem delegado ao *soft law* parcela da responsabilidade na proteção aos bens jurídicos como a integridade física à saúde e até mesmo ao meio ambiente. Empresas voluntariamente fazem a adequação de seus processos às diretrizes de normalização técnica e princípios como Responsabilidade Social Empresarial ou, ainda, Pesquisa em Inovação Responsável, o que será detalhado em tópico posterior.

A relevância do desenvolvimento nanotecnológico, portanto, reside no fato de que suas aplicações podem contribuir efetivamente para a melhoria das condições de vida, tratamentos médicos mais eficazes, equipamentos eletroeletrônicos que facilitam o cotidiano das pessoas, aplicações voltadas à preservação dos alimentos, que podem ser direcionadas para assegurar segurança alimentar às pessoas em vulnerabilidade, dentre outras.

Se diversas áreas da ciência têm promovido o desenvolvimento em nanotecnologias, relevante saber quais as reações normativas que o Direito tem produzido. Neste contexto, no Brasil se tem uma ausência de marco regulatório sobre nanotecnologia, contando apenas com uma iniciativa, o Projeto de Lei nº 880 de 2019. Além disso, verifica-se, em agosto de 2019, a instituição da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, a definição da estratégia para 2016-2022 das Nanotecnologias como Foco da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. No ano



de 2015, o Sindicato dos Químicos de São Paulo inseriu cláusula em Convenção Coletiva, sobre informar aos trabalhadores sobre as nanotecnologias, e, em 2019, o Sindicato dos Metalúrgicos promoveu um ciclo de debates sobre o tema. Entretanto, ainda é um espaço normativo a ser ocupado pelo Direito, para colaborar com o desenvolvimento de forma a assegurar não apenas o reconhecimento de novos direitos, mas assegurar que os direitos já assegurados não sejam afetados.

Organismos de normalização técnica têm produzido suas normas e acompanham o desenvolvimento indicando padrões de especificação e outros aspectos técnicos que devem ser considerados em nanoescala. E acredita-se que o Direito possa estabelecer conexões normativas com as normas técnicas para acompanhar e perceber as evidências sobre as condutas adotadas no curso do desenvolvimento. Estas conexões normativas podem estar circunscritas nos princípios e diretrizes das normas técnicas que estejam alinhados com dispositivos e princípios jurídicos.

Para que esta possibilidade se concretize, a partir do próximo tópico serão produzidas reflexões sobre os dizeres de Benoit Frydman sobre o hibridismo normativo, que já ocorrem entre normas técnicas e de Direito em outros setores e podem ocorrer também para adequação normativa do cenário nanotecnológico.

3 AS CONDUTAS VOLUNTÁRIAS, O HIBRIDISMO NORMATIVO E A PROTEÇÃO EM FACE DE POSSÍVEIS RISCOS

Frydman (2018, p. 91) denomina de canteiro do Direito Global o espaço normativo ocupado por diversos atores de produção de normalização técnica, empresas transnacionais, o Banco Mundial e indicadores diversos que os Estados integram em seus corpos normativos para a adequação de políticas públicas no setor econômico, por exemplo. Se-



gundo o autor, a existência deste canteiro do Direito Global, onde são depositadas as normas produzidas fora do monopólio estatal, comunica com o Direito através de um hibridismo normativo, que permite ao Direito utilizar a produção normativa de outros atores e aplicá-los.

Para exemplificar o contexto, o autor circula entre diversos cenários do mundo globalizado e fixa o olhar com maior atenção ao sistema econômico e ao sistema de normas técnicas, que acabam por criar indicadores, como o grau de confiabilidade de um país, o seu status com relação ao grau de investimentos internacionais, dentre outros. Frydman consegue descrever as reações ocorridas neste canteiro de direito global que acabam por influenciar na produção de normas jurídicas no campo do direito econômico (FRYDMAN, 2018, p. 92).

Contudo, o autor também refere que não é necessário que se estabeleça uma hierarquização normativa, mas com a hibridização, torna-se possível acompanhar quais são os objetivos do desenvolvimento, qual o estado da arte em nanotecnologias atualmente e quais as respostas normativas possíveis de serem tomadas neste contexto marcado pelo avanço nanotecnológico e ausência de marco regulatório específico no Brasil.

Há que se considerar que os documentos legais já existentes, a partir dos enunciados constitucionais, seus princípios e leis especiais, sob diversas perspectivas (ambiental, proteção do consumidor, leis trabalhistas e todas as demais do ordenamento jurídico brasileiro), protegem bens jurídicos como a vida, a saúde e o meio ambiente, com relação àqueles fenômenos que possivelmente possam mitigar tais bens jurídicos, que podem ser, dentro do recorte das reflexões aqui propostas, ditos como os produtos das descobertas humanas que possuem características e reações no meio ambiente, na saúde humana e com outros materiais.

A realidade, em se tratando de nanotecnologias, apesar de muito já se saber, ainda se trata de um território de desenvolvimento não



completamente dominado e seguro quanto aos possíveis resultados indesejados, que podem alterar completamente sua reatividade, seu grau de bioacumulação e desencadear reações para as quais não se tenha um plano de ação.

Analisar o quanto a sociedade é organizada por intermédio das entidades sindicais, grupos de debates acadêmicos e a produção científica através dos artigos produzidos pelas mais diferentes áreas do saber é tão relevante quanto preocupante, pois, se de um lado é necessário pulverizar a informação, divulgar sobre suas peculiaridades e desfrutar dos vantajosos benefícios, por outro lado, pouco se fala dos resultados das pesquisas em nanosegurança, dos ensaios que não produziram o resultado esperado, das tentativas de aplicações que não frutificaram.

É por esta razão que pensar em regulação para nanotecnologias não significa menosprezar o desenvolvimento, não deve significar, também, uma tentativa de frear o curso de seus benefícios, ou ainda, não significa atribuir dúvidas de que está na escala nano a solução para muitos dos problemas que assolam a sociedade global, mas, simplesmente, busca-se trazer à baila a necessidade de se reconhecer que, na atualidade, nenhum fato da vida passa ao largo de qualquer regulação, e, neste sentido, as nanotecnologias que podem (e devem) ser empregadas a favor e em benefício da humanidade não podem, como um fenômeno tecnológico e social, passar despercebidas do contexto normativo.

Assim, no contexto brasileiro, em que não existe legislação específica para nanotecnologias, a possibilidade de promover, por meio do hibridismo normativo, uma aplicação para normas técnicas da ISO, por exemplo, podem contribuir com um desenvolvimento mais seguro do ponto de vista jurídico, por se constatar que as normas técnicas da ISO, internalizadas no Brasil através dos serviços da Associação Brasileira de Normas Técnicas, contém requisitos e princípios que, ao serem adotados pelas empresas, representam uma via indireta de proteção à saúde, meio ambiente e respeito a valores que o Direito já tem enunciado.



4 INDICADORES DE COMO A SOCIEDADE SE SENTE SOBRE NANOTECNOLOGIAS E A ATUAL AUSÊNCIA DE REGULAÇÃO

Frydman (2018, p. 89) comenta que a questão que envolve a legitimidade e validade dos indicadores e normas técnicas, que são essencialmente isentas de conteúdo político, trazendo em seu bojo aspectos técnicos relevantes, é um tema que deve ser trazido ao debate público. A partir desses dizeres, no curso da elaboração da pesquisa, cujo objetivo foi sustentar a possibilidade de hibridização normativa, foi realizada uma pesquisa empírica, autorizada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Unisinos em 2019/2020, cujos dados se passa a apresentar.

Na pesquisa aplicada, duas questões são dedicadas a compreender as percepções dos participantes sobre nanotecnologias e sobre o consumo das nanotecnologias, os participantes tiveram a oportunidade (não eliminatória) de se identificar em três grupos (não conhecem e não trabalham com o Direito; tem conhecimento de normas ISO; e/ou estão inseridos no mercado de trabalho em qualquer tipo de atividade), sendo que 73,8% dos participantes se identificaram como participantes que trabalham com o direito. O que significa dizer que são participantes com conhecimento de conceitos relativos ao Direito.

A pesquisa foi enviada para estudantes, advogados, integrantes do poder judiciário, além dos demais grupos, sendo eles: grupo de pessoas que trabalham em empresas que têm certificação ISO, colaboradores ou consumidores que sabem o que significam normas ISO de qualquer espécie, somando o total de 14,3% dos participantes. E participantes que são potenciais consumidores de nanotecnologias que estejam inseridos no mercado de trabalho em qualquer atividade (potenciais consumidores aqui considerados aqueles que podem vir a optar por consumir produtos com nanotecnologias empregadas), com o total, para este grupo, de 9,5% dos participantes.

Sobre nanotecnologias, nenhum participante respondeu assinando a alternativa "Considerando o parágrafo sobre as aplicações, eu



penso que é um avanço que traz conforto e, ao mesmo tempo, pode melhorar a qualidade de vida das pessoas. Não me importo se existem riscos envolvidos, afinal: 'viver é um risco'. O que pode demonstrar que a temática das nanotecnologias, no mínimo, acende um sinal de alerta sobre o quanto as pessoas podem, ou não, ter as informações a respeito.

Já para a mesma questão, 46,5% dos participantes assinalaram como resposta "Considerando o parágrafo sobre as aplicações, é importante o desenvolvimento nanotecnológico, desde que os consumidores sejam informados quanto aos possíveis riscos, ou, ao menos, sejam informados claramente quais produtos foram desenvolvidos com nanotecnologias ou tenham nanopartículas empregadas. Cada um escolhe o que consumir".

Enquanto 2,3% responderam assinalando a proposição "Eu considero indiferente informar sobre o modo como foi desenvolvido um produto. Isto se aplica às nanotecnologias". E 62,8% assinalaram "Eu considero que o desenvolvimento de novas tecnologias (como a nano) merece atenção e não pode ser colocada à disposição do consumidor enquanto não ficar claro que o produtor tem responsabilidade quanto aos riscos".

Uma segunda questão apresentada aos participantes da pesquisa empírica buscou identificar quais as percepções dos participantes a respeito do consumo de nanotecnologias. Foi feita a seguinte proposição: "Sobre consumir nanotecnologias em cosméticos, produtos de higiene e limpeza, roupas, materiais esportivos, embalagens de alguns alimentos". Em seguida, foram sugeridas as alternativas, com a possibilidade de inserção de resposta diversa. Nesta questão, 7,3% dos participantes se identificaram com a alternativa que propôs "Eu acredito que estou seguro ao consumir (eventualmente) os produtos e tenho informações sobre produtos que contêm nano". A proposição de resposta "Eu acredito que estou seguro ao consumir os produtos, apesar de não ter in-



formações sobre os produtos que contém nano" foi apresentada como uma segunda proposição em que os participantes poderiam identificar como a resposta mais próxima à sua vontade e recebeu 7,3% de participação.

Por fim, foi apresentada uma alternativa com o seguinte teor: "Na ausência de legislação específica para nanotecnologias, se tiver uma norma técnica aplicável para demonstrar a preocupação da empresa com bens jurídicos protegidos, como a vida, a saúde e o meio ambiente, eu entenderia como proteção do consumidor". Esta alternativa foi identificada por 85,4% dos participantes como sendo a resposta que representava sua vontade.

Sobre a responsabilidade no curso do desenvolvimento nanotecnológico, diante da ausência de marco regulatório nanoespecífico, 62,8% dos participantes assinalaram acreditarem estar seguros ao consumirem nanotecnologias e que possuem informações sobre nano. Certo é que as relações de consumo estão protegidas pelo Código de Defesa do Consumidor, entretanto, cabe ainda a reflexão sobre quais os riscos e quais as delimitações de responsabilidade se pode atribuir para nanotecnologias, que, ainda em fase de desenvolvimento, trazem consigo uma parcela de incertezas quanto aos seus resultados.

A pesquisa empírica também buscou capturar as percepções a respeito, o que pode ser analisado com os dados a seguir. Foi proposta a questão: "Sobre a ausência de marco regulatório específico em vigor no Brasil", e os participantes foram convidados a escolher uma das respostas ou inserir resposta diversa, ao clicar na última alternativa "Outra resposta: eu penso diferente...".

As quatro proposições da questão tinham o seguinte conteúdo: "Eu não acompanho as questões de produção legislativa", alternativa que recebeu 4,9% das respostas. A segunda proposição estava representada na frase: "Eu acompanho, mas, neste caso, não me mantive atualizado(a)", que teve 19,5% de participação. Uma terceira alternativa



com o seguinte teor: "Eu não penso que para todas as coisas é necessário ter uma lei, já me sentiria seguro em consumir algo cujo desenvolvimento fosse transparente quanto aos riscos", que recebeu 4,9% de participação. E, por fim, uma alternativa representada pela frase: "Eu acredito que normas técnicas de padronização, como as produzidas pela ISO, podem servir também para proteger o consumidor, por isto, enquanto não tem lei, observar as normas técnicas é positivo", que recebeu 75,6% de participação.

Entre a primeira e a segunda alternativas de resposta, 24,4% dos participantes se sentiram representados por elas. Isso significa dizer que este percentual é daquelas pessoas que não acompanham a produção legislativa e/ou não estão acompanhando o cenário normativo/regulatório para nanotecnologias. O que representa um percentual significativo de potenciais consumidores que não possuem percepções a respeito do atual status de produção legislativa. Em contrapartida, 4,9% das respostas indica que, não havendo uma lei específica que proporcione segurança sobre o consumo, os participantes se sentiriam seguros se fossem informados quanto aos possíveis riscos.

De outro lado, 75,6% dos participantes responderam que, na ausência de marco regulatório específico, o cumprimento de normas técnicas é positivo para assegurar a proteção do consumidor. Esse dado, colhido após terem sido apresentados os conceitos e categorias envolvidas na pesquisa, é de extrema relevância para o Direito, uma vez que, na atualidade, as normas técnicas ISO são identificadas pelo consciente coletivo como algo fora do Direito.

Diante deste contexto de ausência de marco regulatório específico para nanotecnologias, considerando-se as percepções sociais e como tem ocorrido o desenvolvimento tecnológico, para alcançar a finalidade de desfrutar de seus benefícios sem abrir mão da segurança jurídica, é importante refletir sobre o que se trata a questão normativa



com a mesma cautela com que se está propondo refletir sobre a exploração nanotecnológica sob suas perspectivas de risco.

Frydman (2018, p. 13) comenta que as normas ISSO, "com origem na década de 40 do século passado, desempenharam um papel central para o crescimento da normalização em nível global, sobretudo porque fomentaram a criação de instituições de normalização integradas" com o objetivo de privilegiar o desenvolvimento dos mercados e da economia. Além disso, Frydman (2018, p. 13) ressalta que este movimento teve relevância "no bloco de integração econômico europeu e hoje, em sua versão mais sofisticada, tem a pretensão de regular a responsabilidade social das empresas".

A pesquisa empírica levou os respondentes a analisarem conceitos e aplicações das nanotecnologias, conhecerem e inter-relacionarem os conceitos de princípios jurídicos com as normas técnicas ISO e se manifestarem sobre suas percepções. Sobre as conexões existentes e possíveis interfaces entre o sistema do Direito e as Normas Técnicas, foi alvo de questionamento na pesquisa empírica a apresentação dos conceitos de princípio, apresentação sobre a ISO e suas Normas Técnicas e o conceito de Nanotecnologias. Também foi apresentada uma proposição de associação entre os conceitos informados, buscando identificar qual o grau de percepção com relação à associação entre os conceitos. E uma proposição que contém uma afirmação para que os participantes indiquem qual o grau de aproximação entre a afirmação e as suas próprias percepções. A afirmação é a seguinte: "Algumas diretrizes nas normas ISO de gestão para a qualidade e gestão de riscos se referem à valorização dos colaboradores (os trabalhadores e envolvidos na atividade da empresa/organização), à percepção de riscos em processos dentro da organização ou empresa e à melhoria contínua e responsabilidade social. Alguns princípios de direito visam a proteger a vida humana, a dignidade humana (integridade física e moral) e meio ambiente".



A partir da apresentação destes conceitos e das associações apresentadas, assinalaram a alternativa "Não acompanho, não presto atenção ou não me importo com o atual estado de desenvolvimento tecnológico, são coisas que acontecem fora do meu cotidiano" 7% dos participantes respondentes; assinalaram a alternativa "Em minha opinião, o desenvolvimento tecnológico tem observado as proteções legais" 4,7% dos participantes respondentes. Marcaram a alternativa "Em minha opinião, não existem motivos para preocupação com isto, uma vez que são áreas distintas: o direito e as nanotecnologias" 2,3% dos participantes respondentes; e assinalaram a alternativa "Em minha opinião, se não existe marco regulatório para nanotecnologias, mas são observados princípios jurídicos, isto é o suficiente para respeitar bens jurídicos já protegidos, como a vida, integridade, dignidade humana e meio ambiente" 88,4% dos participantes.

Daí se pode extrair que a maior parte dos participantes entende que, apesar da inexistência de marco regulatório nanoespecífico observado, a partir de seu conteúdo, os princípios jurídicos (enquanto categoria normativa), o desenvolvimento pode ocorrer respeitando os bens jurídicos mencionados; isso significa dizer que a análise teórica da associação dos conteúdos dos princípios das normas técnicas observadas e do conteúdo dos princípios jurídicos, para o fim de promoção de um desenvolvimento nanotecnológico que respeite esses bens jurídicos, confirma-se na percepção social. Logo, pode-se também extrair que a percepção social é de confiança nas interfaces propostas pela associação dos conceitos proposta.

Sobre as inter-relações entre as três categorias conceituais propostas, a primeira proposição de resposta foi expressa pela frase: "São três institutos diferentes, restritos apenas a sua área de desenvolvimento: princípios jurídicos só se desenvolvem dentro do mundo jurídico; normas técnicas só servem para aplicação técnica; e nanotecnologias para desenvolver produtos. Essas três coisas não se relacionam" e re-



cebeu 2,5% de participação. Enquanto a frase "Esses institutos podem se inter-relacionar. Por exemplo: é possível ter um desenvolvimento nanotecnológico orientado por normas técnicas e que respeitem princípios jurídicos" recebeu 80% das percepções sociais, contra 2,5% que assinalou que "Os conceitos tem relação entre si, mas devem respeitar alguns limites. Por exemplo: princípios jurídicos de proteção ao meio ambiente não devem ter relação com o desenvolvimento nanotecnológico, pois travam o desenvolvimento". E, por fim, 35% dos participantes assinalaram "As possíveis relações entre os conceitos pode resultar em um desenvolvimento seguro".

Ao analisar as respostas obtidas nessa questão, faz-se necessário ressaltar que a marcação em uma questão não impossibilita ao participante respondente de marcar outra. Isso se dá pela oportunidade aberta e inserida no questionário em razão da alternativa: "outra, descrever...". Houve um desvio de respostas, pois um mesmo participante teve a oportunidade de assinalar mais de uma respostas, porém o resultado final não restou prejudicado uma vez que a análise das respostas indicaram a possibilidade da inter-relação entre os conceitos apresentados e a possibilidade de ocorrer um desenvolvimento sustentável a partir de normas técnicas é a percepção social que se destacou nesse contexto, ratificando também a análise teórica. Assim, também se tornou possível compilar as percepções dos participantes de modo a obter como resultado os percentuais mencionados.

Ademais, na pesquisa empírica realizada, utilizando-se o método da Análise de Correspondência, dos quarenta respondentes ao menos 57,5% acreditam que as normas técnicas podem servir de interface regulatória, por meio de seus padrões (requisitos e princípios) que tangenciam a proteção de bens jurídicos.

Diante disso, as percepções coletadas na pesquisa empírica se coadunam com as conexões teóricas encontradas. Além disso, sobre os mecanismos de adoção das normas e o papel das normas ISO, nesse



contexto, hibridização normativa, o exercício de identificar um diálogo entre as Fontes do Direito, proposto por Engelmann (2010), pode inserir o Direito na contextualização disruptiva do desenvolvimento nanotecnológico, resultado da metamorfose social, cujas transformações significam desde a complexidade social até a imposição de novas formas de pensar a produção normativa.

A atuação dos diferentes atores de produção normativa, que atenda aos conceitos propostos de um pluralismo jurídico, e as percepções conceituais identificadas pelo cosmopolitismo jurídico emergem como alternativas férteis no chamado canteiro normativo global, em que são lançadas perspectivas normativas e podem ser aproveitadas pelo Direito normas produzidas fora do monopólio estatal.

Com essa temática, o presente tópico se desenvolveu conectando tais possibilidades com a essencial atividade do empresário empreendedor que se lança no solo do desenvolvimento nanotecnológico, com o objetivo de alcançar sua parcela de vantagem econômica, mas que, na atualidade, deve também ser considerado um vetor importante de impactos sociais em razão dos resultados de seu trabalho. A empresa é vista dentro deste cenário como o ator que mais demanda respostas normativas e por meio de suas estratégias poderá trabalhar aspectos que respeitem bens jurídicos já assegurados e abarquem ainda mais dentro de seus procedimentos, zelando pelo cosmos, pelos seres inumanos, o meio ambiente, dentre outros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo buscou trazer à luz as possíveis respostas ao seguinte questionamento: quais condições normativas podem ser utilizadas como instrumentos jurídicos aptos a assegurar que o desenvolvimento nanotecnológico concretize direitos de forma a reduzir ou pos-



sibilitar a adequada gestão de riscos? E encontrou algumas alternativas normativas e científicas.

Dentre as alternativas que a própria ciência tem trazido à luz, está a possibilidade de produzir nanossistemas a partir da síntese de químicos atóxicos, denominada como nano verde. Porém as iniciativas sobre a adoção destes parâmetros de desenvolvimento sustentável submetem-se à discricionariedade empresarial que, por possuir uma cultura empresarial adequada às questões da Responsabilidade Social Empresarial e atender a princípios como Pesquisa e Inovação Responsáveis, promove a adequação de seus processos de modo voluntário.

Não há meios de controle ou exigibilidade para que os padrões técnicos atendam às demandas que o Direito tem sob sua responsabilidade, em vista da ausência de marco regulatório nanoespecífico, restando ao *soft law* a proteção da vida, saúde e outros bens já tutelados.

Por outra via, ocorrendo a adequação das condutas empresariais a estes princípios e normas técnicas de adoção voluntária, poder-se-ia utilizar com segurança a expressão de que as nanotecnologias e suas aplicações servem para assegurar direitos fundamentais como a saúde, por meio dos tratamentos médicos, fármacos, cosméticos e outros; assegurar o acesso à água potável e saneamento básico, por meio da aplicação de nanocompósitos que auxiliam na despoluição da água. Também se torna seguro afirmar que a concretização dos direitos ocorre por meio das aplicações das nanotecnologias, se estiverem os seus benefícios voltados a sanar os graves problemas que assolam a humanidade em escala global, corresponsáveis por elevados índices de mortalidade, insegurança alimentar dentre outros aspectos.

O desafio ao responder ao problema de pesquisa paira em: como direcionar os benefícios, efetivamente, a quem precisa? A esta questão cabe produzir mais reflexões e disseminar informações acerca do fenômeno nanotecnológico. Os atores de produção de normalização técnica e empresas engajadas no desenvolvimento nanotecnológico estão



desempenhando o papel de conduzir a humanidade pelo "minúsculo" e ao mesmo tempo amplo mundo que se descortina pela exploração nanométrica.

Esta é a razão pela qual cabe desviar o olhar dos tradicionais mecanismos de produção normativa estatal e buscar, em uma sistemática de colaboração, outros meios e interfaces capazes de auxiliar o Direito nesta etapa. Surge essa possibilidade com o hibridismo normativo proposto por Frydman, cujos resultados teóricos são ratificados na prática por meio da pesquisa empírica apresentada.

A grande maioria dos respondentes inclina-se a acreditar que, não havendo legislação nanoespecífica, mas existindo normas técnicas que promovem melhores práticas para o desenvolvimento nanotecnológico e estipulam padrões de especificação, e sendo seus princípios e diretrizes coerentes com os princípios jurídicos, os bens jurídicos como a saúde, integridade física e meio ambiente estão sendo protegidos.

Não raro, assinalaram que é possível reconhecer as interfaces regulatórias entre as normas técnicas e os princípios jurídicos. Tal constatação permite afirmar com clareza que os dizeres de Frydman, não apenas em teoria, mas na prática, promovem, entre os sistemas de normalização e o Direito, uma interface que é reconhecida socialmente.

Se para Frydman o problema da legitimidade está no fato de que é necessário trazer esse tema a debate, o debate começa a ser promovido e o reconhecimento desta legitimidade percebido por diferentes atores. Importa que o Direito permita que essas interfaces produzam os efeitos jurídicos esperados, e que a sociedade compreenda que não é necessário pagar um preço ainda desconhecido ao assumir possíveis riscos para que se possa desfrutar dos benefícios das nanotecnologias.

Antes de adotar essa conduta cega e de preço tão elevado, ainda há a possibilidade de que se lance mão das condutas voluntárias, por meio de uma abrangente e sistemática valorização de direitos humanos dentro e fora do contexto das empresas que desenvolvem nanotecnolo-



logias, para que os direitos, cujo reconhecimento custou elevado preço social, a luta de tantas gerações, seja concretizado de forma horizontalizada e que quaisquer atores sociais não dependam do Estado para tornar exigíveis condutas protetivas e sem retrocessos. Isto significa dizer: colocar a produção normativa técnica a serviço do Direito para uma adequada gestão de toda a cadeia de processos envolvida no desenvolvimento nanotecnológico.

REFERÊNCIAS

ARRAES, Cecília. Os dados sobre câncer no mundo e no Brasil em 2020 e projeção para 2040: dados do Globocan. *In: Real Instituto de Oncologia e Hematologia*. Disponível em: <http://realinstitutodeoncologia.com.br/os-dados-sobre-cancer-no-mundo-e-no-brasil-em-2020-e-projecao-para-2040-dados-do-globocan/>. Acesso em: 18 jul. 2021.

ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologias e direitos humanos. **Cadernos de Direito Actual**, [S. l.], n. 9, p. 441-487, 2018. Disponível em: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/325/201>. Acesso em: 17 nov. 2020.

FRYDMAN, Benoit. **Breve manual práctico de derecho global**. Traducción de Bernardo Carvajal Sánchez. Bogotá: Universidad Externado de Colombia, 2018.

FRYDMAN, Benoit. **O fim do Estado de Direito: Governar por standards e indicadores**. Tradução Mara Beatriz Krug. Revisão: Jânia Maria Lopes Saldanha. 2. ed. Porto Alegre, 2018.

MARTINS, Patricia S. **O sistema de normas ISO e as nanotecnologias: as interfaces regulatórias e o diálogo entre as fontes do direito**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2016. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6206/Patricia+Santos+Martins_.pdf.js



essionid=DBD1E20F1B30DBC4BF4AE846692D4190?sequence=1.
Acesso em: 28 dez. 2020.

MOSHKING, Mikhail. How nanoparticles from the environment enter the brain. *In*: **Laboratório de Química do Estado Sólido**. Disponível em: https://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2020/lqes_news_novidades_3001.html. Acesso em: 15 jul. de 2021.

SILVA, Luciano Paulino. Nanotecnologia Verde. *In*: Reunião Anual da SBPC, 66. **Anais...** Rio Branco/AC. Julho 2014. Disponível em: http://www.sbpcnet.org.br/livro/66ra/PDFs/arq_3237_1380.pdf. Acesso em: 14 jul. 2021. p.1.

STATNANO, Products Database. **Produtos, Companhias e Países**. Disponível em: <https://product.statnano.com/>. Acesso em: 14 jul. 2021.



AUTORES

Aírton Guilherme Berger Filho

Doutor em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS (2016), Mestre em Direito pela Universidade de Caxias do Sul - UCS (2004), Graduado em Direito pela Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC (2001). Professor da Universidade de Caxias do Sul nos cursos de Graduação em Direito e Pós-Graduação (Mestrado e Doutorado em Direito Ambiental).

E-mail: gberggef@ucs.br

André Rafael Weyermüller

Pós-Doutorando em Direito pela URI-Santo Ângelo, Pós-Doutor pela PUC-Rio, Doutor e Mestre em Direito pela Unisinos, Especialista em Direito Ambiental, professor em programas de pós-graduação na Unisinos e Feevale. Pesquisador. Advogado.

E-mail: andrerweyer@gmail.com

Daiene Dorfey

Mestre em Nanociências pela Universidade Franciscana. Doutoranda em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale. Bolsista CNPq. Bacharel em Engenharia Química pela PUCRS.

E-mail: daienedorfey11@gmail.com



Daniela Pellin

Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios da UNISINOS. Mestre em Direito da Sociedade da Informação. Pesquisadora em Direito, Sociedade e Novas Tecnologias. Membro do Grupo de Pesquisa JUSNANO/CNPq. Pós-doutoranda em Direito Privado pela UFRGS.

Email: dpellin@unisininos.br

Daniele Weber S. Leal

Doutoranda (Bolsista Capes/Proex) e Mestra em Direito Público pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS/RS/Brasil; Especialista em Direito Público pelo Instituto de Educação RS (LFG). Integrante do Grupo de Pesquisa JUSNANO(CNPq); Graduada na Unisininos. Professora da FACCAT e UNIFTEC. Advogada.

Email: weber.daniele@yahoo.com.br

Haide Maria Hupffer

Pós-doutora em Direito pela Unisininos. Doutora em Direito e Mestre em Direito pela Unisininos. Especialista em Recursos Humanos e Graduada em Direito pela Unisininos. Graduada em Ciências Contábeis pela Fundação Machado de Assis agregada a PUCRS. Atualmente é professora e pesquisadora no Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental e no Curso de Graduação em Direito da Universidade Feevale. Integrante do Núcleo Docente Estruturante do Curso de Direito. Líder do Grupo de Pesquisa Direito e Desenvolvimento (CNPq/Feevale). Líder do Projeto de Pesquisa Novas Tecnologias e Sociedade de Risco: Limites e responsabilização pelo risco ambiental?. Temas preferenciais: novas tecnologias e sociedade de risco, bioética, nanotecnologias, hermenêutica filosófica, direito ambiental, educação jurídica. Autora de artigos científicos, capítulos de livros e livros. Orientadora de bolsistas de iniciação



científica PROBIC/FAPERGS, PIBITI/CNPq, PIBIC/CNPq. Orientadora de Mestrado e Doutorado.

E-mail: haide@feevale.br

Juliane Altmann Berwig

Doutora em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos com Bolsa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo Programa de Excelência Acadêmica (Proex). Mestre em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, especialista em Direito Ambiental Nacional e Internacional pela Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Sul e graduada em Direito pela Universidade de Santa Cruz do Sul. Professora no curso de Direito da Universidade FEEVALE e Pesquisadora com projeto financiado pela FAPERGS "Os riscos ambientais das nanotecnologias: estruturando as possíveis respostas do direito e informando a sociedade". Orientadora de bolsistas de iniciação científica PROBIC/FAPERGS. Professora de cursos de Especialização. Participou do Workshop sobre Public Law & Policy na Universidade de Berkeley (EUA), do debate STS Circle at Harvard do Programa em Ciência, Tecnologia e Sociedade na Universidade de Harvard na escola John F. Kennedy, Boston (EUA) e da Conferência Climate Lecture Series na Universidade MIT, Boston (EUA). 2ª Vice-Presidente da Associação Gaúcha dos Advogados de Direito Ambiental Empresarial - AGAAE. Autora do livro Direito dos Desastres na Exploração offshore do petróleo. Sócia-proprietária do escritório Berwig Advocacia.

Leonel Severo Rocha

Pós-Doutor em Sociologia do Direito na Itália, Doutor pela E.H.E.S.S. Paris e Mestre em Direito pela UFSC, professor em programas de pós-graduação na URI-Santo Ângelo e Unisinus. Pesquisador 1 CNPQ. Advogado.

E-mail: leonel.rocha@uol.com.br



Maicon Artmann

Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale. Advogado.
E-mail: artmann.maicon@gmail.com

Patricia Santos Martins

Doutora em Direito Público pelo Programa de Pós Graduação da UNISINOS Bolsa (Capes/PROEX). Professora no Curso de Graduação em Direito da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA/Torres). Pesquisadora integrante do Grupo de Pesquisa JUSNANO (UNISINOS).
E-mail: patricia.mart@hotmail.com

Raquel Von Hohendorff

Doutora e Mestra em Direito Público pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos -UNISINOS. Especialista em Direito e Processo do Trabalho-UNISINOS. Integrante do grupo de pesquisa JUSNANO(Cnpq). Professora do Programa de Pós-Graduação em Direito e graduação Unisinos. Advogada e Médica veterinária.
Email: vetraq@gmail.com

Vanusca Dalosto Jahno

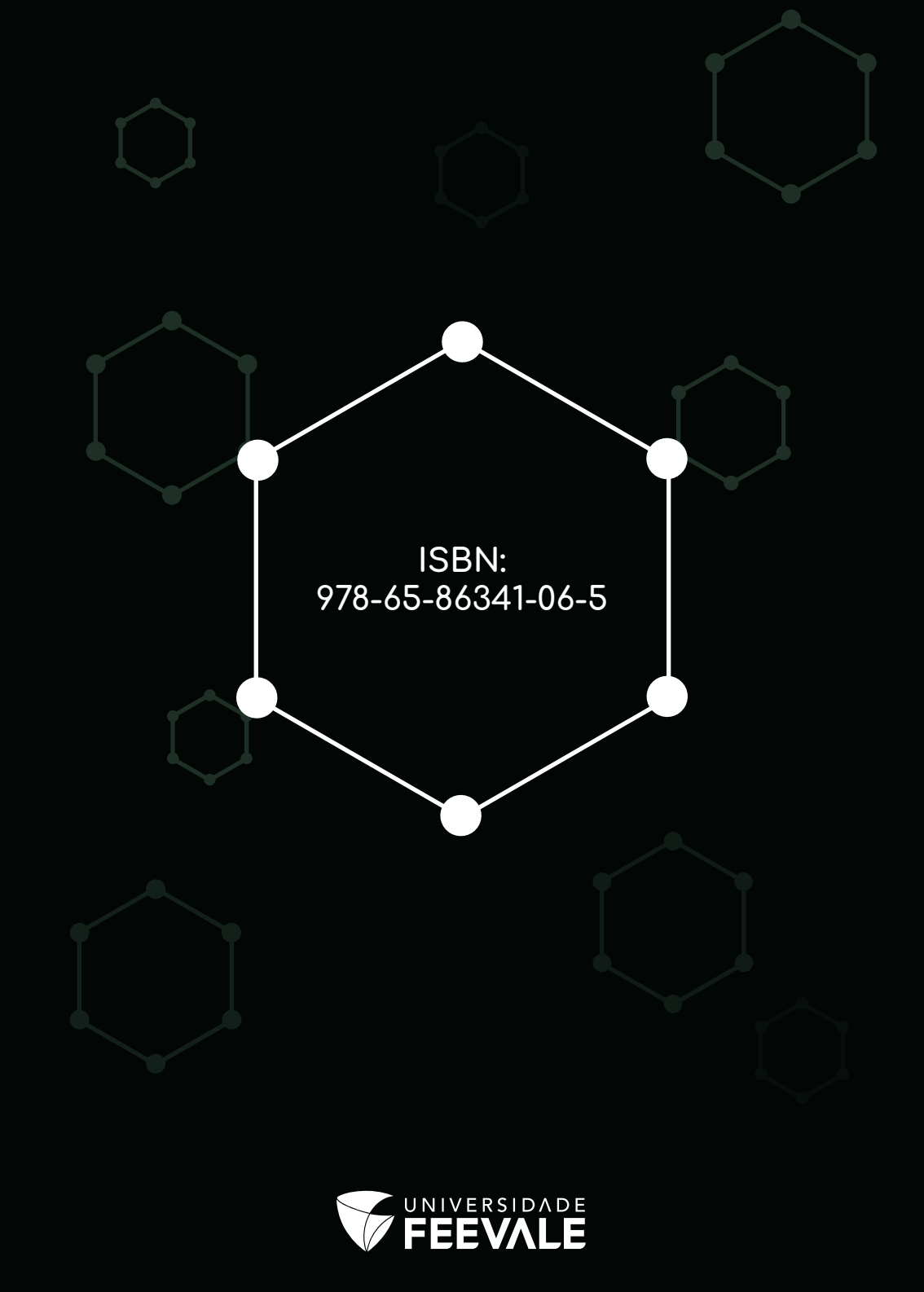
Doutora em Medicina e Ciências da Saúde pela PUCRS. Mestre em Engenharia de Materiais pela UFRGS. Docente do PPG em Qualidade Ambiental e no PPG profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais da Universidade Feevale.
E-mail: vanusca@feevale.br

Wilson Engelmann

Possui graduação em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (1988), mestrado em Direito Público pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2000) e doutorado em Direito Público pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2005). Realizou estudos de pós-doutorado em Direito Público - Direitos Humanos, no Centro de Estudos de Segu-



ridade da Faculdade de Direito da Universidade de Santiago de Compostela, Espanha; Coordenador executivo, professor e pesquisador do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios; professor e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Direito - Mestrado e Doutorado, ambos da UNISINOS; bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq; é pesquisador colaborador do Latin American Nanotechnology & Society Network; pesquisador associado - Portugalense Institute for Legal Research; pesquisador associado do Centro de I&D sobre Direito e Sociedade, comitê de assessoramento da fapergs da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul e professor adjunto da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Tem experiência na área de Direito, com ênfase em Teoria Geral do Direito, atuando principalmente nos seguintes temas: nanotecnologias, inteligência artificial, direitos humanos, novos direitos, diálogo entre as fontes do direito e riscos.



ISBN:
978-65-86341-06-5