

# A SOCIEDADE NANOTECNOLÓGICA E NOVOS DESAFIOS DO DIREITO AMBIENTAL: ENTRE A SUSTENTABILIDADE E A ECONOMIA CIRCULAR PARA GESTÃO DO (NANO) RISCO<sup>1</sup>

*NANOTECHNOLOGICAL SOCIETY AND NEW CHALLENGES IN ENVIRONMENTAL LAW: BETWEEN SUSTAINABILITY AND THE CIRCULAR ECONOMY FOR (NANO) RISK MANAGEMENT*

**Wilson Engelmann<sup>2</sup>**

Professor e Pesquisador do PPGD – Mestrado e Doutorado (UNISINOS, São Leopoldo/RS, Brasil)

**Daniele Weber S. Leal<sup>3</sup>**

Professora da Graduação do Curso de Direito (FACCAT, Taquara/RS, Brasil)

- 
- <sup>1</sup> 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 nº 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 nº 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/CAPEIS 06/2018 – Programa de Internacionalização da Pós-Graduação no RS. Este trabalho também se relaciona com as pesquisas realizadas no contexto do *Gracious Consortium*, “Grouping, read-across, characterisation and classification framework for regulatory risk assessment of manufactured nanomaterials and safer design of nano-enabled products”, com recursos financeiros do *European Union’s Horizon 2020* research and innovation programme under Grant Agreement nº 760840. Disponível em: [www.h2020gracious.eu](http://www.h2020gracious.eu). O trabalho aqui apresentado também está vinculado às pesquisas realizadas pelo autor no CEDIS – Centro de I & D sobre Direito e Sociedade, da Faculdade de Direito da Universidade Nova de Lisboa, Portugal, e da investigação desenvolvida pelo autor junto ao Instituto Jurídico Portucalense, da Universidade Portucalense, Porto, Portugal.
- <sup>2</sup> Pós-doutor en los Retos Actuales del Derecho Público pela Universidade de Santiago de Compostela, na Espanha; Coordenador Executivo do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios (UNISINOS); Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. *E-mail*: [wengelmann@unisinos.br](mailto:wengelmann@unisinos.br). Currículo: <http://lattes.cnpq.br/7143561813892945>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0012-3559>.
- <sup>3</sup> Doutoranda (Bolsista Capes/Proex) e mestre em Direito Público pela UNISINOS. Especialista em Direito Público-LFG. Integrante do grupo de Pesquisa JUSNANO(Cnpq). Professora de metodologia da pesquisa, Bioética e Biodireito e Ética Profissional na FACCAT; Professora de Direito Civil, Filosofia e História do Direito na UNIFTEC. *E-mail*: [weber.daniele@yahoo.com.br](mailto:weber.daniele@yahoo.com.br). Currículo: <http://lattes.cnpq.br/5340038791083384>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3980-7720>.

**ÁREA(S):** Direito ambiental; novos direitos.

**RESUMO:** Este estudo apresenta as nanotecnologias no cenário da Quarta Revolução Industrial e os seus desafios jurídicos. Não existem marcos regulatórios legislativos específicos bem definidos para as investigações, produções industriais, comercialização e a destinação final de produtos que contenham nanopartículas. Por conta disso, apresentar-se-á o cenário nanotecnológico e ainda a atenção ao nanorisco, para depois perpassar o princípio da Sustentabilidade ambiental, importante neste contexto. Por fim, a partir da proposta de adoção de economia circular, verifica-se possibilidade de enfrentamento da gestão de riscos nanotecnológicos. Obtem-se na pesquisa um arcabouço regulatório a guiar a construção de instrumentos autorregulatórios por parte das organizações que inovam a partir da escala nanométrica. A partir da Ciência Regulatória se projeta estes elementos substanciais para a arquitetura do ambiente (nano)regulatório, inovadoras neste cenário e apoiando suas bases na Sustentabilidade ambiental e economia circular.

**ABSTRACT:** *This study presents nanotechnologies in the scenario of the Fourth Industrial Revolution and its legal challenges. There are no well-defined specific legislative regulatory frameworks for investigations, industrial production, marketing and final destination of products containing nanoparticles. As a result, the nanotechnological scenario and the attention to nanotechnological risk will be presented, in order to follow the principle of environmental sustainability, which is important in this context. Finally, based on the proposed adoption of a circular economy, there is a possibility of confronting the management of nanotechnological risks. The research is a regulatory framework that guides the construction of self-regulatory instruments by organizations that innovate from the nanometric scale. From the Regulatory Science project these substantial elements for the architecture of the (nano) regulatory environment, innovative in this scenario and supporting its bases in environmental Sustainability and circular economy.*

**PALAVRAS-CHAVE:** nanotecnologias; risco; direito ambiental; sustentabilidade; economia circular.

**KEYWORDS:** *nanotechnologies; risk; environmental law; sustainability; circular economy.*

**SUMÁRIO:** Introdução; 1 Entendendo o mundo nano: atenção do direito ambiental devido aos riscos; 2 Sustentabilidade ambiental e a adoção de economia circular: uma alternativa para efetiva gestão dos riscos nanotecnológicos; Conclusão; Referências.

**SUMMARY:** *Introduction; 1 Understanding the nano world: environmental law's attention to risks; 2 Environmental sustainability and the adoption of circular economy: an alternative for effective management of nanotechnological risks; Conclusion; References.*

## INTRODUÇÃO

A era nanotecnológica é uma realidade, sendo que diversos produtos e materiais manipulados em escala nano já fazem parte do nosso cotidiano. Desta forma, a nanotecnologia aparece diariamente na vida em sociedade, desde produtos cosméticos (protetor solar, creme antirrugas), shampoos, até mesmo produtos domésticos (bebedouro d'água) e medicamentos, indústria bélica, dentre outras várias áreas. Inclusive esse amplo rol é aberto devido ao processo contínuo de desenvolvimento das nanotecnologias. Verifica-se aplicação no setor alimentício, cosméticos, na indústria do plástico, biocombustível etc.

O século XXI se caracteriza pela emergência de uma revolução tecnocientífica sem precedentes, impulsionada pelos avanços de novos produtos, dispositivos e processos com nanotecnologias. Vale dizer: é a possibilidade humana de acessar a escala nanométrica, que equivale à bilionésima parte de um metro. Os investigadores abrem o caminho, fazendo as descobertas; as indústrias promovem a criação de produtos, a partir deste primeiro estágio; o comércio vibra com as possibilidades de vendas que os consumidores levam para as suas casas, usam nos seus corpos e povoam o meio ambiente com lixo que tem características inusitadas.

Contudo, mesmo as nanotecnologias apresentando um grande potencial benéfico e de evolução em prol da humanidade, o risco é observado atentamente pelos pesquisadores, o que desperta o necessário aporte do Direito e correto enfrentamento a fim de regular como forma de precaução. Portanto, a era nanotecnológica é uma realidade, o que acarreta a maior produção de resíduos nanotecnológicos, que é gerado desde a industrialização até o destino final. Esta tecnologia traz consigo benefícios desacompanhados de certeza científica, o que traz à tona complexidades antes sequer pensadas, demandando do Direito uma reformulação, como por exemplo tentar viabilizar a utilização de um instrumento regulatório - com fundamentação na sustentabilidade empresarial, a partir da economia circular.

Aqui se tem alguns degraus do ciclo de vida dos nanomateriais e nanopartículas. Permeando estes e outros degraus, se verifica a emergência de riscos, que, igualmente, poderão apresentar contornos novos e desafiadores a partir do presente, em direção ao futuro. As questões que se colocam são: como e onde o Direito entra nesta revolução nanotecnocientífica? Como regular? O

que é regular, já que esta é uma das funções precípua do Direito, se, inclusive as áreas exatas têm dificuldades de fazer este dimensionamento?

O problema deste artigo versa sobre a ausência regulatória específica para os resíduos nanotecnológicos, e de que forma a adoção da Economia circular pelas empresas, fundadas na sustentabilidade empresarial, poderá efetivar a implementação da rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos, que conseqüentemente, efetuará gestão do risco e autorregulação para o nanowaste, num espaço iluminado pelos princípios da precaução e da sustentabilidade exigida neste cenário permeado por incertezas e riscos nanotecnológicos. Neste contexto, como a estruturação dos elementos dos *Fragmentos Constitucionais*, propostos por Teubner, poderá contribuir para modelar estratégias autorregulatórias em um cenário de crescente produção de resíduos em escala nanométrica, orientadas pelos elementos estruturantes da Economia circular fundadas na sustentabilidade empresarial e na busca da compatibilização da atuação local e transnacional das organizações de base nanotecnológica?

Assim, neste contexto de novos direitos inseridos na Quarta Revolução Industrial, propõe-se analisar do que se trata essa nova tecnologia e sua inserção na sociedade humana, sobretudo no que tange ao risco, para depois perpassar a importante perspectiva do Direito ambiental que é o Princípio da Sustentabilidade. Por fim, analisar-se-á a possibilidade de adoção de economia circular para efetivar a gestão do risco nanotecnológico.

A fim de desenvolver este artigo, a investigação se dará através da metodologia sistêmico-construtivista, utilizando-se de bases que não compõem o Direito tradicional, possibilitando a conexão e aplicação de outros institutos regulatórios, realizando a interligação de outras áreas da ciência. Entretanto, a observação ocorrerá também a partir do acompanhamento do Direito neste diálogo transdisciplinar, mas não amarrado ao Poder Legislativo. Isso parece ser um movimento importante que precisará ser anotado e compilado, pois a regulação está surgindo com a intervenção de diversos setores, muitos dos quais não estatais. Será utilizada a análise funcional, proposta por Luhmann<sup>4</sup>, como apoio metodológico para esta investigação, considerando-se que ela relaciona a intenção de compreender o existente como contingencial e o que for diferente como comparável. Em outros termos, problema e solução não são uma relação

---

<sup>4</sup> LUHMANN, Niklas. *Sociedad y sistema: la ambición de la teoría*. Tradução de Santiago López Petit y Dorothee Schmitz. Barcelona: Paidós, 1990.

que seja um fim em si mesma, mas, antes, serve como fio condutor de perguntas por possibilidades e equivalências funcionais<sup>5</sup>. Ao lado dessa caminhada metodológica, o artigo está estruturado pela análise de conteúdo<sup>6</sup> aplicada à pesquisa documental<sup>7</sup>, aqui entendida a pesquisa bibliográfica, especialmente a partir das publicações no Portal de Periódicos da Capes, e à pesquisa em documentos publicados<sup>8</sup> por órgãos reguladores internacionais.

## 1 ENTENDENDO O MUNDO NANO: ATENÇÃO DO DIREITO AMBIENTAL DEVIDO AOS RISCOS

Este artigo busca apresentar as nanotecnologias, situando-as como parte integrante da Quarta Revolução Industrial, diagnosticando a realidade desta nova tecnologia, dados sobre seu surgimento, usos e aplicações nas mais diferentes áreas do conhecimento humano. Segundo Schwab:

[...] Imagine as possibilidades ilimitadas de bilhões de pessoas conectadas por dispositivos móveis, dando origem a um poder de processamento, recursos de armazenamento e acesso ao conhecimento sem precedentes. Ou imagine a assombrosa profusão de novidades tecnológicas que abrangem numerosas áreas: inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia e computação quântica, para citar apenas algumas<sup>9</sup>.

Ainda utilizando Schwab, mais recentemente nos desafios trazidos na sua última obra, quais sejam: a) a justa distribuição dos benefícios das disrupções

<sup>5</sup> LUHMANN, Niklas. *Sociedad y sistema: la ambición de la teoría*. Tradução de Santiago López Petit y Dorothee Schmitz. Barcelona: Paidós, 1990.

<sup>6</sup> BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.

<sup>7</sup> CELLARD, André. A análise documental. In: POUPART, Jean et al. *A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos*. 4. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014, p. 295-316.

<sup>8</sup> REGINATO, Andréa Depieri de A. Uma introdução à pesquisa documental. In: Machado, Máira Rocha (Org.). *Pesquisar empiricamente o direito*. São Paulo: Rede de Estudos Empíricos em Direito, 2017, p. 189-224.

<sup>9</sup> SCHWAB, Klaus. *A quarta revolução industrial*. Tradutor Daniel Moreira Miranda. Edipro, São Paulo, 2016, p. 11.

tecnológicas; b) a contenção das inevitáveis externalidades; c) garantia de que as tecnologias emergentes nos empoderem como seres humanos, em vez de nos governar<sup>10</sup>. Esta parte inicial objetiva apresentar as nanotecnologias, demonstrando brevemente 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<sup>11</sup>. A nanotecnologia é o conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação<sup>12</sup>, obtida graças às especiais propriedades da matéria organizada a partir de estruturas de dimensões nanométricas. A expressão nanotecnologia deriva do prefixo grego *nános*, que significa anão, *techne* que equivale a ofício, e *logos* que expressa conhecimento. Atualmente, a tecnologia em escala nano traz consigo muitas incertezas, especialmente concernentes aos riscos altamente nocivos à saúde e ao meio ambiente<sup>13</sup>. Assim, é necessária uma configuração textual sobre a nanotecnologia, um dos tipos de inovação tecnológica da pós-modernidade, destacando sua origem, o que realmente são,

<sup>10</sup> SCHWAB, Klaus. *Aplicando a Quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2018, p. 30.

<sup>11</sup> Segundo Freitas, a sustentabilidade é “[...] (1) é princípio constitucional direta e imediatamente aplicável, (2) reclama *eficácia* (resultados justos, não mera aptidão para produzir efeitos jurídicos), (3) demanda *eficiência*, sempre subordinada à *eficácia*, (4) intenta tornar o *ambiente limpo*, (5) pressupõe a *probidade*, nas relações públicas e privadas, (6) implica *prevenção*, (7) *precaução* (8) e *solidariedade intergeracional*, com o reconhecimento pleno dos direitos gerações presentes e futuras e (9) da *responsabilidade solidária do Estado e da sociedade*, (10) tudo no sentido de propiciar o *bem-estar duradouro e multidimensional*”. (Grifos dos autores). FREITAS, Juarez. *Sustentabilidade: direito ao futuro*. Belo Horizonte: Fórum, 2012, p. 52.

<sup>12</sup> O conceito de inovação utilizado neste estudo é o que se encontra no art. 2, inciso IV, da Lei nº 13.243, de 2016: “Art. 2º Para os efeitos desta Lei, considera-se: [...] IV – inovação: introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características a produto, serviço ou processo já existente que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho”. BRASIL. *Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016*. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei nº 6.815, de 19 de agosto de 1980, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, a Lei nº 12.462, de 4 de agosto de 2011, a Lei nº 8.745, de 9 de dezembro de 1993, a Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994, a Lei nº 8.010, de 29 de março de 1990, a Lei nº 8.032, de 12 de abril de 1990, e a Lei nº 12.772, de 28 de dezembro de 2012, nos termos da Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm)>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>13</sup> DURÁN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cesar de. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

seus usos na atualidade, os setores produtivos envolvidos e os investimentos mundiais atuais neste campo de inovação.

Sobre as nanotecnologias especificamente, cabe destacar a revisão de junho de 2015, da *European Commission – High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies*<sup>14</sup>, referente a uma comunicação da Comissão Europeia datada de 2009. Neste documento foram identificados seis *Key Enabling Technologies* (KETs) e uma delas são as nanotecnologias. Os governos investem em *tecnologias habilitadoras essenciais*, como a nanotecnologia, para resolver desafios sociais e impulsionar a economia, e, ao mesmo tempo, as agências governamentais exigem redução de risco para prevenir quaisquer efeitos adversos frequentemente desconhecidos, e as organizações industriais exigem abordagens inteligentes para reduzir incertezas<sup>15</sup>.

As tecnologias em ultra pequena escala com toda uma imensa gama de benefícios já estão no mercado, sendo amplamente consumidas. Os mais diferentes setores econômicos utilizam nanotecnologias (variadas produções tecnológicas na escala nanométrica, representando uma alternativa de manipular átomos e moléculas na bilionésima parte do metro). Como exemplos podem ser citados protetores solares, calçados, telefones celulares, tecidos, cosméticos, automóveis, medicamentos produtos para agricultura, medicamentos veterinários, produtos para tratamento de água, materiais para a construção civil, plásticos e polímeros, produtos para uso nas indústrias aeroespacial, naval e automotora, siderurgia, entre outros. Este rol não está fechado, uma vez que as nanotecnologias estão em processo de desenvolvimento. Assim, deixam de ser apenas promessas futurísticas e incorporam-se na rotina diária da sociedade deste início do século XXI, exigindo, portanto, a atenção por parte do Direito.

Como ocorre frequentemente com as inovações, é difícil saber para onde os avanços em novos materiais poderão conduzir o mundo. Um novo material em escala nano, como o grafeno, que é cerca de 200 vezes mais forte que o aço, milhões de vezes mais fino que um cabelo humano e um eficiente condutor de

---

<sup>14</sup> EUROPEAN COMMISSION. High-Level Expert Group on key Enabling Technologies (HLG-KET). *Final Report: KETs: time to act*, Brussels, June 2015. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11082/attachments/1/translations>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>15</sup> WEZEL, Annemarie P. van et al. Risk analysis and technology assessment in support of technology development: putting responsible innovation in practice in a case study for nanotechnology. *Integrated Environmental Assessment and Management*, Pensacola, v. 14, n. 1, Jan. 2018. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28901636>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

calor e eletricidade<sup>16</sup>, quando se tornar financeiramente competitivo (grama a grama, ele é um dos materiais mais caros do mundo; 1 micrômetro custa mais de US\$ 1.000), poderá causar rupturas nas indústrias de fabricação e infraestrutura<sup>17</sup>.

Para este trabalho se adota o conceito editado por *The International Standardization Organization (ISO)*, por meio do seu *Technical Committee 229*: nanotecnologias representam a “compreensão e controle de matéria e processos em nanoescala que se situa, tipicamente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, em que o aparecimento dos fenômenos dependentes de tamanho geralmente permite novas aplicações”. A essa característica se acrescenta, ainda: “utilizando as propriedades de materiais de nanoescala que diferem das propriedades de átomos, moléculas e matéria em massa individuais, para criar materiais, dispositivos e sistemas aprimorados que exploram essas novas propriedades<sup>18</sup>”.

Somente para demonstrar a gama de produtos existentes em nível global, é possível apresentar os números gerais registrados pela *Nanotechnology Products Database (NPD)* – Base de Dados de Produtos de Nanotecnologia, que foi criada em janeiro de 2016. Com a finalidade de se tornar uma fonte de informação confiável, acreditada e atualizada para a análise e caracterização de produtos nanotecnológicos (ou seja, nanoprodutos) introduzidos nos mercados globais, cataloga-se e registra-se toda capacidade de produção de nanotecnologia desenvolvida no mundo. Com base na NPD, em dados colhidos no dia 26 de março de 2021, existem 8.980 produtos com algum ingrediente na sua composição em nano escala, produzidos por 2.519 companhias, oriundos de 63 países<sup>19</sup>. Desta forma, a nanotecnologia aparece diariamente na vida em sociedade, desde produtos cosméticos (protetor solar, creme antirrugas), shampoos, até mesmo produtos domésticos (bebedouro d’água) e medicamentos, indústria bélica, dentre outras várias áreas.

---

<sup>16</sup> ISALIAH, David. Automotive grade graphene: the ClockisTicking. *Automotive World*, Wales, Aug. 26 2015. Disponível em: <<http://www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>17</sup> LASKOW, Sarah. The strongest, most expensive material on earth. *The Atlantic*. Washington, Sept. 23 2014. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2014/09/the-strongest-most-expensive-material-on-earth/380601/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>18</sup> ISO/TC 229. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/iso\\_technical\\_committee?commid=381983](http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983)> Acesso em: 26 mar. 2021.

<sup>19</sup> INTRODUCTION. *Nanotechnology Products Database (NPD)*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://product.statnano.com/>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

Contudo, mesmo que se verifique uma potencialidade de novos produtos, inovadores, que podem de fato trazer um benefício enorme à sociedade, outro aspecto importante e pouco debatido é o risco nanotecnológico. Como a sua produção está em ritmo exponencial, e a utilização pela sociedade é cada vez maior, necessário atentar para a possibilidade de danos futuros à saúde humana e ecossistema de maneira geral, inserindo o debate também no Direito ambiental.

A primeira característica se refere ao tamanho da partícula e isso poderá gerar os riscos. Quando se fala em riscos, já se encontram pesquisas sinalizando a sua ocorrência. A OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*, por exemplo, publicou um material que alerta: a presença de nanomateriais em forma seca ou em pó e na compostagem do lodo de águas residuais que é muitas vezes disseminada em terras agrícolas como fertilizante, representa uma preocupação particular. Na França, a metade nacional do lodo de águas residuais é utilizada para a fertilização agrícola. A transformação potencial de nanomateriais artificiais no solo, suas interações com plantas e bactérias e sua transferência para as águas superficiais nunca foi estudada em profundidade<sup>20</sup>. Além desses aspectos, a apresentação de novidades trazidas pela pesquisa ou desenvolvimento de novos produtos sempre acarreta certo nível de risco. Para o Direito, gera a necessidade de normatizar os riscos e os danos futuros com criatividade e modelos flexíveis, que possam ser facilmente modificados e atualizados em atendimento ao mesmo movimento das atualidades nanotecnológicas<sup>21</sup>. O que é um grande desafio, pois o Direito sempre avaliou os fatos do passado, atribuindo-lhes efeitos jurídicos no presente, determinando como deveria ser o comportamento no futuro. No caso das nanotecnologias, os efeitos que poderão surgir – riscos e danos – no futuro e no presente, ainda são pouco conhecidos<sup>22</sup>.

E esse também é o problema da regulação legislativa estatal sobre a matéria: ainda não se tem informações científicas suficientes para uma regulação formal. Busca-se sinalizar quais seriam as possibilidades de regulação para esse cenário de riscos, muitos dos quais ainda desconhecidos, que projetam para o futuro uma eventualidade de ocorrência de danos. Algumas pesquisas

<sup>20</sup> OECD. *Observer*, abril de 2016. Disponível em: <[https://issuu.com/oecd.publishing/docs/oecdobserver\\_306\\_q2\\_2016\\_lowres/1?e=3055080/38458478](https://issuu.com/oecd.publishing/docs/oecdobserver_306_q2_2016_lowres/1?e=3055080/38458478)>. Acesso em: 14 mar. 2021, p. 9 e 10.

<sup>21</sup> BARBAT, A. S. *Estudios de Derecho de Seguros y Reaseguros*. Montevideo: La Ley Uruguay, 2016, p. 213.

<sup>22</sup> O ser humano está construindo um mundo perigoso, parafraseando um livro de DELMAS-MARTY, Mireille. *Libertés et sûreté dans un monde dangereux*. Paris: Éditions du Seuil, 2010.

revelam uma desconexão entre as pesquisas acadêmicas e a sua aplicação em escala industrial<sup>23</sup>, o que abre novas possibilidades para riscos, sublinhando a necessidade de uma maior aproximação entre as pesquisas realizadas nas Universidades e a sua transferência para o setor industrial, caracterizando a tripla hélice, conforme ensinado por Etzkowitz<sup>24</sup>.

Oportuno ainda realizar o cotejo entre as inovações tecnológicas e os direitos do consumidor, onde observa-se já no início do Código de Defesa do Consumidor, no art. 10, a imposição de que não poderá o fornecedor colocar no mercado produto ou serviço que sabe apresentar alto grau de nocividade ou periculosidade, o qual nesta realidade atual poderia tangenciar às nanotecnologias:

Art. 10. O fornecedor não poderá colocar no mercado de consumo produto ou serviço que sabe ou deveria saber apresentar alto grau de nocividade ou periculosidade à saúde ou segurança.

§ 1º O fornecedor de produtos e serviços que, posteriormente à sua introdução no mercado de consumo, tiver conhecimento da periculosidade que apresentem, deverá comunicar o fato imediatamente às autoridades competentes e aos consumidores, mediante anúncios publicitários.

§ 2º Os anúncios publicitários a que se refere o parágrafo anterior serão veiculados na imprensa, rádio e televisão, às expensas do fornecedor do produto ou serviço.

§ 3º Sempre que tiverem conhecimento de periculosidade de produtos ou serviços à saúde ou segurança dos

---

<sup>23</sup> JIMÉNEZ, Araceli Sánchez *et al.* Safe(r) by design implementation in the nanotechnology industry. *In NanoImpact*, v. 20, 2020.

<sup>24</sup> Sobre este aspecto, cabe destacar o artigo intitulado: “Siete retos para el futuro de la nanotecnología española”, que poderão ser aplicados a Espanha e a outros países, dentre eles o Brasil, a fim de ser enfrentado o denominado ‘valle de la muerte’ entre el laboratorio y la empresa. Os desafios a serem enfrentados são: 1) El recorte de inversión en I+D; 2) La falta de valor añadido; 3) La falta de inversión privada; 4) La barrera psicológica; 5) Ciencia y empresa no hablan el mismo idioma; 6) Obsesión por patentar y falta de estándares; 7) La falta de divulgación y formación. ZAFRA, E. “Siete retos para el futuro de la nanotecnología española”, *MIT Technology Review*, 06 Septiembre, 2012. Disponível em: <<https://www.technologyreview.es/s/2967/siete-retos-para-el-futuro-de-la-nanotecnologia-espanola>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

consumidores, a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios deverão informá-los a respeito.

Por conta desse diálogo necessário com o CDC, mostra-se essencial identificar a questão do risco pelo menos de forma mais explícita ao consumidor<sup>25</sup>, alertando que nanoproductos inovadores podem trazer danos futuros à saúde humana e ecossistema de uma forma geral, primando pelo respeito, no mínimo, ao Direito de Informação. Os contornos do direito à informação estão contemplados no art. 31 do CDC e também na Constituição Federal de 1988. Portanto, apesar de não se ter na redação a palavra “nanotecnologia”, o conteúdo deverá ser respeitado pelos setores produtivos envolvidos nessa situação.

O direito à informação<sup>26</sup> não se configura apenas como um direito infraconstitucional, mas como um dos direitos do consumidor, radica no interesse público, considerando que “[...] sua tessitura está coenvolvida de inevitáveis inserções no âmbito do Direito Público Constitucional, até porque as relações de consumo são necessariamente transindividuais, pois irradiam efeitos além dos sujeitos concretos da aquisição ou utilização de determinado produto para alcançar todos os que sejam por elas atingidos, em ato ou potência<sup>27</sup>”. O cumprimento voluntário do direito/dever à informação, por parte de todos os envolvidos, corresponde a uma das condutas eticamente responsáveis e proporciona de igual modo, um consumo consciente. É imprescindível a observação e o respeito a limites mínimos no desenvolvimento desta nova tecnologia, prezando precipuamente ao bem-estar e segurança da vida humana. No horizonte atual de riscos envolvendo os produtos nanotecnológicos, aparece o Direito com um papel regulatório de construção de elementos adequados para tutelar esta nova demanda, viabilizando o direito à informação visto sob a ótica da dignidade da pessoa humana e por sua vertente positivada (presente na Constituição e no Código de Defesa do Consumidor, em especial no seu art. 31). O fato é que o consumidor tem o direito (dever) de conhecer os benefícios

<sup>25</sup> VAN WEZEL, A. P. *et al.* Risk analysis and technology assessment in support of technology development: putting responsible innovation in practice in a case study for nanotechnology. *Integr. Environ. Assess. Manag.* v. 14, 2018, p. 9-16.

<sup>26</sup> SUNSTEIN Cass R. Ruining popcorn? The welfare effects of information. *Journal of Risk and Uncertainty.* v. 58, 2019, p. 121-142.

<sup>27</sup> LÔBO, Paulo Luiz Netto. A Informação como Direito Fundamental do Consumidor. IN: MARQUES, Cláudia Lima; MIRAGEM, Bruno (Orgs.). *Doutrinas Essenciais. Direitos do Consumidor.* São Paulo: RT, 2011, vol. III, p. 527-82. (Edições Especiais). p. 596.

e riscos dos produtos a serem consumidos. Para isso, faz-se necessário construir alternativas para esclarecer o público consumidor leigo.

Os direitos do consumidor são uma categoria jurídica onde se expressa a genuína constitucionalização do Direito Privado. Um conjunto de relações que emergem na seara privada, que passam a receber o manto público da Constituição, quando a proteção e a defesa do consumidor são categorizadas como direitos fundamentais e direitos integrantes da ordem econômica do Estado. Diante da proteção tanto constitucional quanto do consumidor, no caso das nanotecnologias face o risco, por cautela e precaução é que os riscos deveriam ser melhores enfrentados, os quais partem do seu conhecimento, que chegam ao consumidor pela informação.

Outro aspecto importante é a questão dos resíduos<sup>28</sup>, levando em consideração o aumento destes produtos inovadores no cotidiano da sociedade em geral. Aqui se tem a preocupação com o nano lixo ou o *nanowaste*<sup>29</sup>. As duas perguntas que dão o título a uma publicação do *The Guardian* são intrigantes e, neste momento, ainda de difícil resposta: a) Nano: uma opção mais limpa?

b) A nanotecnologia poderia arrumar o planeta sem deixar resíduos perigosos<sup>30</sup> Considerando que as áreas exatas de conhecimento ainda não conseguem respondê-las, qual poderá ser a postura do Direito? Aguardar, no tradicional estilo de que primeiro se deverá ter um fato (um desastre?) para, depois, se pensar em regulação? Ou, se poderia planejar uma atitude mais propositiva e inovadora, projetando caminhos para a juridicização dos fatos nanotecnológicos, sem a intervenção do Poder Legislativo?<sup>31</sup> Assim, esta pesquisa se propõe a apresentar uma alternativa ao contexto de risco das nanotecnologias, enfrentado

<sup>28</sup> O tema dos riscos e dos resíduos em escala nano são objeto de dois projetos de pesquisa, ainda em andamento, que estão sendo desenvolvidos pelos autores: 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 nº 12/2017 – Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ, projeto intitulado: “As nanotecnologias e suas aplicações no meio ambiente: entre os riscos e a autorregulação”.

<sup>29</sup> LEAL, Daniele W. S.; ENGELMANN, Wilson. *A autorregulação da destinação final dos resíduos nanotecnológicos (NANOWASTE): o Pluralismo Jurídico entre a gestão dos riscos e os protocolos da OECD*. 1. ed. São Leopoldo: Karywa, 2018. v. 1.

<sup>30</sup> *THE GUARDIAN*. What is nano? Is nano a cleaner option?. Out. 2013. Disponível em: <[https://www.theguardian.com/what-is-nano/nano-a-cleaner option?CMP=share\\_btn\\_link](https://www.theguardian.com/what-is-nano/nano-a-cleaner-option?CMP=share_btn_link)>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>31</sup> ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologias e direitos humanos. *Cadernos de Dereito Actual*. Nº 9. Núm. Ordinário (2018), p. 441-487 :ISSN 2340-860X

pelo Direito, mais precisamente na subárea do Direito ambiental, de maneira que visualiza-se uma possibilidade da gestão dos riscos nanotecnológicos através da observância do Princípio da Sustentabilidade, para fundamentar a adoção da economia circular ao desenvolvimento das nanos.

O desenvolvimento socioeconômico que ocorrerá com o advento e implementação das nanotecnologias nos mais diversos processos produtivos não pode deixar de considerar os aspectos éticos legais e sociais, bem como a sustentabilidade, promovendo sempre os ideais de uma responsabilidade planetária e de um não retrocesso ambiental<sup>32</sup>. Nesse contexto, se observa a importância da sustentabilidade ambiental fomentada pela economia circular. A seguir se estudará a movimentação da sustentabilidade para a economia circular, ou seja, aquela será implementada por essa; não significa uma substituição, mas um reforço da primeira categoria pela segunda, conforme se verá no próximo capítulo.

## 2 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E A ADOÇÃO DE ECONOMIA CIRCULAR: UMA ALTERNATIVA PARA EFETIVA GESTÃO DOS RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

Um dos aspectos mais importantes para o futuro das gerações no que tange às novas tecnologias, na qual as nanos se inserem, é a sustentabilidade. Inclusive existe um novo movimento relacionando nano e sustentabilidade. Existe uma organização internacional que vem estudando o desenvolvimento das nanotecnologias aliadas à sustentabilidade, de maneira a pesquisar a interação entre os nanomateriais e ecossistema, promovendo a evolução da nanotecnologia com uma pegada ambiental e sustentável<sup>33</sup>. Trata-se do Centro para Nanotecnologia Sustentável:

O objetivo do Centro para Nanotecnologia Sustentável é desenvolver e utilizar uma compreensão do nível molecular das interações nanomateriais-biológicas para permitir o desenvolvimento de nanotecnologias

<sup>32</sup> HOHENDORFF, Raquel. *A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos: lidando com a improbabilidade da comunicação intersistêmica 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: 14 mar. 2021.

<sup>33</sup> THE CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY. *About us*. Madison, 2015. Disponível em: <<https://susnano.wisc.edu/about/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

sustentáveis e socialmente benéficas. Com efeito, pretendemos compreender os princípios químicos e físicos de nível molecular que regem o modo como as nanopartículas interagem com os sistemas vivos, a fim de fornecer os fundamentos científicos necessários para garantir que a evolução contínua da nanotecnologia possa ocorrer com a pegada ambiental mínima e benefício máximo para a sociedade. O CSN não é um centro físico, mas é um ponto focalizado para a colaboração que liga a experiência complementar de pesquisadores em 12 instituições diferentes para alcançar o que nenhum de nós poderia fazer individualmente. Nós coassessoramos estudantes de pós-graduação e nos encontramos frequentemente no espaço cibernético, aproveitando o mais recente em comunicações habilitadas para a web para alcançar um alto nível de interação. O financiamento para o CSN vem da Divisão de Química da Fundação Nacional da Ciência através do Programa de Centros de Inovação Química. (tradução nossa)<sup>34</sup>.

Conforme defende Schwab, não se deve considerar as tecnologias emergentes como *meras ferramentas*, que estão completamente sob nosso controle, mas deve-se entender *como* e *onde* os valores humanos estão incorporados às novas tecnologias e como elas podem ser moldadas para melhorar o bem comum, a gestão ambiental e a dignidade humana. Assim, todas as partes interessadas deverão participar da discussão global sobre as maneiras como as tecnologias estão impactando na vida de todos no planeta<sup>35</sup>. Este é o ponto nevrálgico para o desenvolvimento sustentável, a participação de todos, de modo que as empresas desenvolvedoras das nanos deverão ter papel mais importante ainda, por terem maiores recursos e acessos aos meios científicos e autorregulatórios, adotando mecanismos sustentáveis, principalmente na questão dos resíduos gerados.

---

<sup>34</sup> THE CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY. *About us*. Madison, 2015. Disponível em: <<https://susnano.wisc.edu/about/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>35</sup> SCHWAB, Klaus. *Aplicando a Quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2018.

De outro modo, presencia-se uma necessidade muito maior de mudança. É necessária alteração substancial no modo de desenvolvimento das nanotecnologias, onde o início dá-se pelas pesquisas nos laboratórios, passando para as empresas. Mudança desde sua idealização, até sua industrialização, distribuição, e principalmente dos resíduos por eles gerados. Uma consciência ambiental concreta, que busque, de fato, proteger as gerações presente e futuras, calcadas na sustentabilidade<sup>36</sup>.

Tal movimento vai ao encontro das ideias de Beck, que em sua última obra defende uma chamada metamorfose. Ao invés de mudança, pois se desestabilizam as certezas da sociedade moderna, os eventos e processos que provocam um choque fundamental: a metamorfose significa que o que foi impensável ontem é real e possível hoje<sup>37</sup>; a metamorfose implica transformação muito mais radical, em que as velhas certezas da sociedade moderna estão desaparecendo e algo inteiramente novo emerge<sup>38</sup>. Ademais, quando se fala sobre desenvolvimento nanotecnológico, tem-se um estado de desconhecimento reflexivo que representa desafios essenciais não só para a pesquisa do risco. É muito mais do que isso, é a coincidência, a coexistência de desconhecimento e riscos globais que caracterizam os momentos existenciais de decisão não somente em política e ciência, mas também em situações da vida cotidiana<sup>39</sup>. Desta maneira, como são riscos jamais pensados, os quais podem gerar danos de dimensões inalcançáveis pela ciência, medidas precaucionais e sustentáveis são indispensáveis. Um exemplo em que a nanotecnologia poderia tornar certas áreas mais sustentáveis é a agricultura<sup>40</sup>. Poderia ser mais eficiente e sustentável,

<sup>36</sup> SOETEMAN-HERNÁNDEZ, Lya G. *et al.* Modernizing innovation governance to meet policy ambitions through trusted environments. In *NanoImpact*, v. 21, 2021.

<sup>37</sup> BECK, Ulrich. *A metamorfose do mundo: novos conceitos para uma nova realidade*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. São Paulo: Editora Zahar. 2018, p. 11-12.

<sup>38</sup> BECK, Ulrich. *A metamorfose do mundo: novos conceitos para uma nova realidade*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. São Paulo: Editora Zahar. 2018, p. 15.

<sup>39</sup> BECK, Ulrich. *A metamorfose do mundo: novos conceitos para uma nova realidade*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. São Paulo: Editora Zahar. 2018, p. 138.

<sup>40</sup> KÜHNEL, Dana *et al.* Environmental impacts of nanomaterials: providing comprehensive information on exposure, transport and ecotoxicity - the project DaNa2.0. *Environmental Sciences Europe*, v. 26, n. 21, 2014. Disponível em: <http://www.enveurope.com/content/26/1/21>; SIMEONE, Felice C. *et al.* Assessing occupational risk in designs of production processes of nano-materials. *NanoImpact*, v. 14, 2019. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/nanoimpact](http://www.elsevier.com/locate/nanoimpact); PAVLICEK Anna *et al.* A European nano-registry as a reliable database for quantitative risk assessment of nanomaterials? A comparison of national approaches. *NanoImpact*, v. 21, 2021. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/nanoimpact](http://www.elsevier.com/locate/nanoimpact);

entretanto, dados os riscos, é necessária uma compreensão mais sistemática dos mecanismos envolvidos para provar o potencial de agroquímicos nano-habilitados<sup>41</sup>.

Assim, a questão da segurança deve ser tomada numa perspectiva mais ampla, vinculada à sustentabilidade. O maior financiador público do Reino Unido da pesquisa de inovação básica, o “Conselho de engenharia e Ciência Física e de Pesquisa” pediu aos candidatos que relatassem as maiores implicações e riscos potenciais (ambientais, de saúde, sociais e éticos) associados à pesquisa proposta na área de nanociências; relacionando à sustentabilidade, que contribui para o objetivo do desenvolvimento sustentável da União Europeia. A União Europeia segue a definição de desenvolvimento sustentável de 1997, que consiste em dimensões econômicas, sociais e ambientais em dependência mútua; e socialmente desejável: socialmente desejável captura os pontos âncora normativos relevantes e mais específicos do Tratado *sobre* a União Europeia, como qualidade de vida, igualdade entre homens e mulheres. Os pontos no desenvolvimento e avaliação de produtos irão claramente além da simples rentabilidade do mercado, embora este último possa ser uma condição prévia para a viabilidade dos produtos nas economias competitivas do mercado<sup>42</sup>.

Em relação à dimensão do processo tomado pelas empresas, o desafio aqui é chegar a uma gestão mais responsiva, adaptativa e integrada do processo de inovação. Uma abordagem multidisciplinar com o envolvimento dos stakeholders (setores) e outras partes interessadas deve levar a um processo de inovação inclusiva, pelo qual os inovadores técnicos se tornam sensíveis às necessidades da sociedade e os setores da sociedade tornam-se corresponsáveis pelo processo de inovação por meio de um aporte construtivo para definir produtos desejáveis da sociedade<sup>43</sup>. Tal aspecto deve ser ressaltado no que tange

---

BERTI, L. A.; PORTO, L. M. *Nanossegurança: guia de boas práticas em nanotecnologia para fabricação e laboratórios*. São Paulo: Cengage Learning, 2016; GRACIOUS Consortium. Disponível em: <https://www.h2020gracious.eu/about/consortium>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>41</sup> WHITE, Jason C.; GARDEA-TORRESDEY, Jorge. Achieving food security through the very small. Nanotechnology and agriculture. Published: 06 August 2018. *Nature Nanotechnology*, v. 13, p. 627-629 (2018). Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41565-018-0223-y>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>42</sup> VonSchomberg, René. *A vision of responsible innovation*. In: OWEN, Richard; BESSANT, John; HEINTZ, Maggy (Ed.). *Responsible innovation: managing the responsible emergence of science and innovation in society*. Nova Jersey: Wiler, 2013.

<sup>43</sup> VonSchomberg, René. *A vision of responsible innovation*. In: OWEN, Richard; BESSANT, John; HEINTZ, Maggy (Ed.). *Responsible innovation: managing the responsible emergence of science and innovation in society*. Nova Jersey: Wiler, 2013.

aos resíduos, posicionando a gestão dos riscos decorrentes das nanotecnologias e dos resíduos em nano escala entre os elementos da sustentabilidade e da economia circular. Aqui, portanto, a chave para responder ao problema lançado na Introdução.

A sustentabilidade é foco nas Nações Unidas. Está disposta nos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, onde o 12º objetivo versa especificamente sobre o consumo e produções responsáveis<sup>44</sup>. Esta Agenda é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Ela também busca fortalecer a paz universal com mais liberdade. Reconhecemos que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável. Todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, implementarão este plano. Mostra-se determinação em tomar as medidas ousadas e transformadoras que são urgentemente necessárias para direcionar o mundo para um caminho sustentável e resiliente. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são 169 metas que demonstram a escala e a ambição desta nova Agenda universal. Eles se constroem sobre o legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e concluirão o que estes não conseguiram alcançar. Eles são integrados e indivisíveis, e equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Os Objetivos e as metas estimularão a ação para os próximos 15 anos em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta<sup>45</sup>.

Segundo Freitas, a sustentabilidade

[...] (1) é princípio constitucional direta e imediatamente aplicável, (2) reclama eficácia (resultados justos, não mera aptidão para produzir efeitos jurídicos), (3) demanda eficiência, sempre subordinada à eficácia, (4) intenta tornar o ambiente limpo, (5) pressupõe a probidade, nas relações públicas e privadas, (6) implica prevenção, (7) precaução (8) e solidariedade intergeracional, com o reconhecimento pleno dos direitos das gerações

<sup>44</sup> ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONUBR. *Objetivo 12*. Assegurar padrões de produção e de consumo. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods12/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>45</sup> ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONUBR. *Preâmbulo*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

presentes e futuras e (9) da responsabilidade solidária do Estado e da sociedade, (10) tudo no sentido de propiciar o bem-estar duradouro e multidimensional.<sup>46</sup>

Por outro lado, quando se busca adotar medidas precaucionais que envolvem o meio ambiente (fundamentado na sustentabilidade), faz-se a ligação com a participação da sociedade (aqui neste projeto, pelas empresas) e os direitos ambientais procedimentais, à luz desse regime constitucional-ambiental, os quais criam condições reais para que os deveres fundamentais de proteção ambiental referidos sejam operacionalizados pelos particulares (e, de certa forma, também pelas instituições públicas intermediárias encarregadas de prover a defesa ecológica em prol de toda a coletividade) além de permitir, é claro, a própria salvaguarda do direito fundamental ao ambiente na hipótese de ameaça de violação ou violação<sup>47</sup>. Para se lidar com a incerteza sobre os riscos<sup>48</sup> que poderão ser gerados em relação ao ser humano e ao meio ambiente, que sempre decorrem de uma decisão a ser tomada, deverá pautar a atuação pela procura da sustentabilidade ambiental em todos os caminhos que levam ao desenvolvimento econômico gerado pela indústria de base nanotecnológica. Vale dizer que nenhum avanço econômico poderá ser aceito se não houver a preocupação com a preservação da vida e do meio ambiente. Além disso, a construção da sustentabilidade nanotecnológica depende da participação de todos os setores que estão no ciclo de vida de um nanomaterial, especialmente o setor empresário-industrial.

Por isso, o Brasil vem discutindo sobre o enfrentamento para alcançar um modelo sustentável de crescimento nos próximos anos. Este foi um dos principais objetos entre os participantes do Congresso Sustentável 2018, realizado em 11 de setembro pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), no Teatro Santander, em São Paulo. Durante o evento, que reuniu a alta liderança de grandes empresas brasileiras – responsáveis por gerar mais de 1 milhão de postos de trabalho no País em diversos segmentos – foi apresentada a Agenda CEBDS por um País Sustentável. O documento, que

---

<sup>46</sup> FREITAS, Juarez. *Sustentabilidade: direito ao futuro*. Belo Horizonte: Fórum, 2012, p. 52.

<sup>47</sup> SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Direitos ambientais procedimentais: acesso à informação, à participação pública na tomada de decisão e acesso à justiça em matéria ambiental. *Revista Novos Estudos Jurídicos – Eletrônica*, v. 23, n. 2 – maio-ago 2018. Doi:10.14210. p. 417-446.

<sup>48</sup> LUHMANN, Niklas. *Sociología del riesgo*. Tradução de Silvia Pappe, Brunhilde Erker, Luis Felipe Segura. Universidad Iberoamericana, México, 2006.

pode ser baixado no site do CEBDS, contém 10 propostas elaboradas pelos CEOs das próprias empresas associadas à organização e destinadas aos candidatos à Presidência da República. Aumento de fontes renováveis nas matrizes energéticas, segurança hídrica, expansão do saneamento básico, soluções para transição a uma economia de baixo carbono, mecanismos financeiros de estímulo a práticas sustentáveis e equidade de gênero no mercado de trabalho são alguns dos temas abordados<sup>49</sup>.

Para efetuar gestão adequada dos resíduos, alicerçada pela sustentabilidade, com a análise dos efeitos, parte-se da avaliação do ciclo de vida. A ACV, em inglês *Life Cycle Assessment* (LCA), é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços, extremamente importante nas nanotecnologias, como mencionado no tópico anterior. A análise do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. Trazendo os fundamentos da sustentabilidade, importante relacionar com a chamada *Economia Circular*. A economia circular é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade<sup>50</sup>. Os resultados do estudo de ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) ajudam a promover o projeto e o redesenho de forma sustentável de produtos e processos, levando à redução dos impactos ambientais gerais e à redução do uso e da liberação de materiais mais tóxicos. Os estudos de ACV<sup>51</sup> identificam os principais materiais e processos dentro dos ciclos de vida dos produtos que provavelmente causam os maiores impactos, incluindo os impactos trabalhistas e de toxicidade pública. Essas avaliações permitem que as empresas façam melhorias no produto por meio de escolhas ambientalmente corretas de processo, material e projeto. A *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos), define a ACV como uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida.

---

<sup>49</sup> SUSTENTÁVEL 2018. Resumo *final*. 2018. Disponível em: <<http://cebds.org/publicacoes/resumo-final-sustentavel-2018/#.W81JXmhKjIU>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>50</sup> PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. *REVISTA AD NORMAS*. Setembro 2018. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/04/a-avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv-e-a-economia-circular/>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

<sup>51</sup> ZEB, Aurang et al. *Knowledge domain and emerging trends in nanoparticles and plants interaction research: A scientometric analysis*. *NanoImpact*, v. 21, 2021. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/nanoimpact](http://www.elsevier.com/locate/nanoimpact). Acesso em: 14 mar. 2021.

Idealmente, convém que o sistema de produto seja modelado de tal maneira que as entradas e saídas em sua fronteira sejam fluxos elementares e de produtos. A identificação das entradas e saídas que deveriam ser rastreadas ao meio ambiente, isto é, a identificação de quais processos elementares que produzem as entradas (ou processos elementares que recebem as saídas) deveriam ser incluídos no sistema de produto em estudo, é um processo iterativo. E neste ponto que se insere a Economia circular: crescimento com foco em benefícios sociais. O modelo econômico de extrair, transformar, descartar da atualidade está atingindo seus limites físicos. A economia circular é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade. Isso envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema por princípio. Apoiada por uma transição para fontes de energia renovável, o modelo circular constrói capital econômico, natural e social. Baseia-se em três princípios: eliminar resíduos e poluição por princípio, manter os produtos e os materiais em ciclos de uso e regenerar os sistemas naturais. Segundo a Ellen MacArthur Foundation, em uma economia circular, a atividade econômica contribui para a saúde geral do sistema. O conceito reconhece a importância de que a economia funcione em qualquer escala – para grandes e pequenos negócios, para organizações e indivíduos, globalmente e localmente<sup>52</sup>.

A transição para uma economia circular não se limita a ajustes visando reduzir os impactos negativos da economia linear. Ela representa uma mudança sistêmica que constrói resiliência em longo prazo, gera oportunidades econômicas e de negócios, e proporciona benefícios ambientais e sociais<sup>53</sup>. Aqui, portanto, a ancoragem da pesquisa para este artigo é com o método sistêmico-constructivista, pois a economia circular aponta para a análise e a valorização de todo um sistema de produção, no caso das nanotecnologias.

Temos os seguintes elementos, componentes da economia circular, que promovem o retorno dos materiais aos fabricantes, indústrias e demais setores

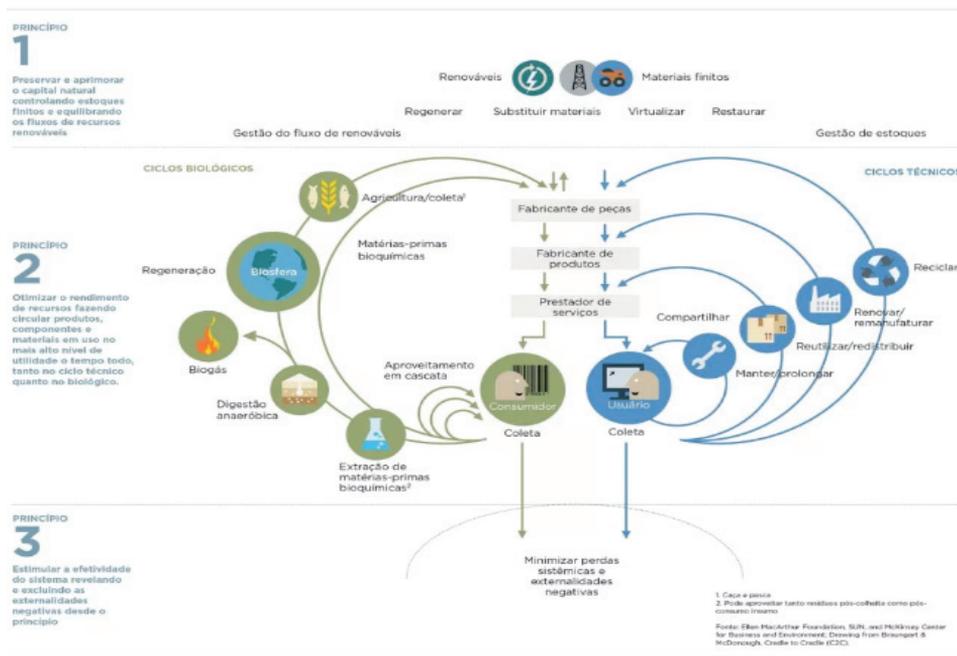
---

<sup>52</sup> PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. *REVISTA AD NORMAS*. Setembro 2018. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/04/a-avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv-e-a-economia-circular/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>53</sup> PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. *REVISTA AD NORMAS*. Setembro 2018. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/04/a-avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv-e-a-economia-circular/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

de desenvolvimento de produtos, que inclusive relaciona-se à ideia de sistema de Luhmann:

**Figura 1 – Sistema do Fluxo de Economia Circular**



Fonte: PRADO FILHO, 2018<sup>54</sup>.

Ao encontrar esses cenários, a economia circular mostra-se uma alternativa atraente à economia linear de extração, transformação e descarte, oferecendo para a sociedade a oportunidade de reduzir a sua dependência de fontes de energia e materiais esgotáveis, ao passo que possibilita o seu contínuo desenvolvimento. Por princípio, a economia circular é regenerativa e restaurativa e tem por objetivo potencializar a utilidade e o valor de produtos, componentes e materiais. Estudos preliminares da Ellen MacArthur Foundation (2017) mostraram que seria possível gerar mais oportunidades de inovação e

<sup>54</sup> PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. *REVISTA AD NORMAS*. Setembro 2018. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/04/a-avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv-e-a-economia-circular/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

criação de valor no Brasil através da transição para economia circular, visto que o País possui características mercadológicas e sociais únicas, além do capital natural.

A economia circular possui dois princípios importantes que se encaixam nas demandas dos resíduos nanotecnológicos, que são a maximização do rendimento de recursos, levando à redução dos desperdícios e à circularidade dos recursos; e ainda a estimulação da efetividade do sistema, gerando impactos positivos para todas as partes interessadas<sup>55</sup>. Aqui se tem a aproximação pretendida por este artigo com a sustentabilidade ambiente. Vale dizer: a gestão dos nano resíduos gerados pelas nanotecnologias deverá se orientar pelos elementos estruturantes da sustentabilidade ambiental e da economia circular. Se tais aspectos estiverem na produção industrial das nanotecnologias, se poderá responder ao problema da pesquisa de modo positivo. Aliás, é o que se busca para que as nanotecnologias efetivamente possam ser consideradas “verdes” e para que se possa usufruir das potencialidades que são anunciadas pelos seus defensores.

A Economia Circular também é entendida como o oposto da Economia Linear. Na economia linear, modelo ainda utilizado em larga escala no Brasil e em muitos outros países atualmente, a matéria-prima é extraída, processada, vendida, utilizada e descartada como resíduo, gerando assim, o rápido esgotamento de recursos naturais, além da destruição do meio ambiente. Por isso, as discussões relacionadas aos resíduos sólidos atualmente devem ser desenvolvidas muito além de assuntos como apenas poluição, desmatamento, efeito estufa, espaço, saúde. Embora todos esses assuntos sejam de grande relevância, é necessário que estes debates envolvam também os temas relacionados à otimização dos recursos, estratégia, marketing, economia, logística, emprego, renda e cidadania<sup>56</sup>.

O modelo da Economia Circular é um processo onde os resíduos são minimizados, através da manutenção do valor econômico dos produtos e dos materiais e recursos neles contidos, pelo maior tempo possível. Para que seja possível a transição para um sistema mais circular faz-se necessária uma abordagem envolvendo governos, empresas e ciência, bem como consumidores

---

<sup>55</sup> CNI, Confederação Nacional da Indústria. *Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira*. Brasília: CNI, 2018. 64 p.

<sup>56</sup> LAURINDO, M. *A viabilidade da economia circular à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010*. Monografia apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas. Florianópolis: 2016.

e maior cooperação na cadeia de valor. O que condiciona a circularidade é o reconhecimento de diferenças setoriais, incluindo seus interesses e envolvimento em toda a cadeia de valor devido a limites técnicos e físicos, bem como a impactos diferentes em termos de custos e benefícios<sup>57</sup>. Em última análise a conjugação dos componentes da sustentabilidade ambiental e da economia circular se encontram na base da denominada “pesquisa e inovação responsáveis<sup>58</sup>”.

Além desse movimento geral para transição à economia circular, existe outra iniciativa bem recente, datada de junho de 2020, que traz a certificação ou “selo verde sustentável”, a qual impactaria tanto na confiabilidade e crédito do consumidor, até mesmo na captação de incentivos financeiros. Essa é a proposta recém entabulada na União Europeia, que vem desde 2018 elaborando o protocolo de implementação do desenvolvimento sustentável empresarial. O comunicado à comunidade em geral deu-se apenas em junho de 2020, esclarecendo como seria este programa:

A Comissão Europeia congratulou-se hoje com a adoção pelo Parlamento Europeu do Regulamento Taxonomia, um ato legislativo fundamental que contribuirá para o Pacto Ecológico Europeu, estimulando o investimento do setor privado em projetos ecológicos e sustentáveis. O regulamento contribuirá para a criação da primeira «lista ecológica» à escala mundial: um sistema de classificação das atividades econômicas sustentáveis, que criará uma terminologia comum que os investidores poderão utilizar onde quer que se encontrem, sempre que investirem em projetos e atividades econômicas com um considerável impacto positivo no clima e no ambiente. Ao permitir que os investidores reorientem os investimentos para tecnologias e empresas mais sustentáveis, este ato legislativo contribuirá de modo

<sup>57</sup> BUSINESS EUROPE, 2015. *Circular economy: a key pillar of a strategic european resource policy*. Disponível em: <https://www.bussinesseurope.eu/publications/circular-economy-key-pillar-strategic-european-resource-policy-how-companies-europe>. Acesso em: 14 mar. 2021.

<sup>58</sup> LARSSON, S., JANSSON, M., BOHOLM, A. Expert stakeholders' perception of nanotechnology: risk, benefit, knowledge, and regulation. *J. Nanopart. Res.* v. 21, n. 57, 2019; VAN WEZEL, A. P. *et al.* Risk analysis and technology assessment in support of technology development: putting responsible innovation in practice in a case study for nanotechnology. *Integr. Environ. Assess. Manag.* v. 14, 2018, p. 9-16.

determinante para que a UE alcance a neutralidade climática até 2050.<sup>59</sup>

Desta forma, a Europa cria *selo verde* para priorizar investimento em atividades sustentáveis. Ressalta-se que o Bloco espera que a medida, aprovada pelo Parlamento Europeu em 18.06.2020, também oriente investidores privados. Tal notícia teve reflexo no Brasil, pela divulgação na Folha de São Paulo. Inclusive cabe destacar que dentro dos objetivos do selo, encontra-se o fomento à transição para economia circular:

BRUXELAS – O Parlamento Europeu aprovou nesta quinta (18) novas regras para determinar se uma atividade econômica é ambientalmente sustentável. O *selo verde* (<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/01/empresas-brasileiras-lideram-busca-por-selo-global-de-sustentabilidade.shtml>) será atribuído a empresas e projetos, e deve guiar investimentos públicos na União Europeia. Outro objetivo é que qualquer investidor, pessoa física ou jurídica, saiba se seu dinheiro está sendo aplicado em atividades que colaboram para a preservação do ambiente ou a prejudicam. A legislação estabelece cinco objetivos ambientais, e a atividade recebe o ‘selo verde’ se contribuir para pelo menos um deles sem prejudicar significativamente nenhum dos outros. Os objetivos que precisam ser atendidos são 1) redução das mudanças climáticas (<https://arte.folha.uol.com.br/ciencia/2018/crise-do-clima/introducao/>) ou adaptação a elas, 2) uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos, 3) *transição para a economia circular (incluindo prevenção de resíduos)*, 4) prevenção e controle da poluição e 5) proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas. [...] Além disso, a Comissão Europeia estima que o bloco precisa de cerca de 260 bilhões de euros por ano (cerca de R\$ 1,51 trilhão

<sup>59</sup> EUROPEAN COMMISSION. *Financiamento Sustentável*: Comissão congratula-se com a adoção pelo Parlamento Europeu do Regulamento Taxonomia. Junho 2020. Disponível em: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip\\_20\\_1112](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_20_1112). Acesso em: 20 mar. 2021.

anual) em investimentos extras para atingir suas metas climáticas e energéticas para 2030 (o objetivo final é ser neutra na liberação de gás-carbônico para a atmosfera até 2050). Além da Comissão e do Parlamento, empresas financeiras apoiaram a ideia de priorizar o investimento em atividades ambientalmente responsáveis.<sup>60</sup> (Grifo nosso).

Diante da necessidade de preservação desta e das gerações futuras é que medidas sustentáveis como as acima citadas são fortemente difundidas no contexto Europeu, as quais corroboram com formato da economia circular, devendo nortear as discussões sobre a regulação das nanotecnologias no Brasil. Seguindo a discussão sobre ela, neste tipo de economia os resíduos em geral são tratados como um recurso valioso; a coleta, a triagem e a reciclagem de produtos e materiais descartados são consideradas atividades cotidianas; os produtos e materiais devem ser pensados visando sua reutilização sempre que possível; e a transformação dos produtos em novas matérias-primas ou em produtos com maior valor agregado é uma atividade que deve ser amplamente aplicada. Para que isso ocorra, diversos tipos de conceitos, tecnologias e inovações podem ser aplicados, favorecendo assim a criação de sistemas que sejam mais eficientes, impedindo o desperdício de recursos e gerando novos negócios e empregos também nas áreas menos favorecidas da cidade<sup>61</sup>.

Desta maneira, uma vez demonstrada a importância da adoção de medidas sustentáveis no manejo dos resíduos nanotecnológicos, é possível que essa sustentabilidade esteja ligada aos princípios da Economia Circular. O intuito é consolidar a segurança desse manejo, de maneira mais concreta e viável, para que a proposta seja uma espécie de rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos. A partir da implementação e respeito da sustentabilidade ambiental, dando enfoque na adoção de uma economia circular, a qual acarretaria no mínimo a redução de resíduos de uma maneira geral, e também um maior tempo de vida e até mesmo rastreabilidade de todos os produtos, inclusive

---

<sup>60</sup> FOLHA DE SÃO PAULO. *Europa cria 'selo verde' para priorizar investimento em atividades sustentáveis*. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/06/europa-cria-selo-verde-para-priorizar-investimento-em-atividades-sustentaveis.shtml>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

<sup>61</sup> LUZ, B. *Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática*. 1. ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.

dos resíduos, a gestão do risco seria efetiva, uma vez que os nanomateriais e produtos seriam controlados, monitorados, e receberiam as cautelas que o risco impõe, de maneira a viabilizar uma logística adequada para o descarte do *nanowaste*. A estruturação da sociedade nanotecnológica exige que se respeite o meio ambiente, pois nenhum resultado econômico poderá justificar o prejuízo ambiental. Para isso, as empresas deverão guiar o seu avanço de inovação, por meio da gestão dos riscos que poderão ser gerados pela manipulação da matéria em nano escala. Para isso, o artigo formulou a conjugação dos elementos que estruturam a sustentabilidade ambiental – como a busca constante de se ter um ambiente mais limpo, o trabalho guiado por posturas de prevenção e precaução, dependendo do maior ou menor grau de conhecimento sobre os riscos, e responsabilidade de todos, não apenas do Estado, para a estruturação de uma sociedade solidária e comprometida com um meio ambiente adequado para as atuais e as futuras gerações. Paralelamente, e com os mesmos objetivos, a economia circular poderá contribuir para que tais elementos possam ser implementados, posto que também está preocupada com a preservação e o aprimoramento do ser humano, a busca constante pela otimização do rendimento dos recursos e o estímulo para que se tenha efetividade do sistema como um todo. Portanto, sustentabilidade + economia circular + preocupação das empresas de base nanotecnológica = produtos, serviços e uma vida humana preservada no Planeta Terra. Essa é a fórmula que qualquer opção regulatória deverá ter como grande objetivo, seja estruturas regulatórias formais, oriundas do Estado, sejam medidas autorregulatórias, construídas com a participação efetiva de todos os setores envolvidos no ciclo de vida de um nanomaterial.

## CONCLUSÃO

Este artigo buscou caracterizar um dos conjuntos tecnológicos que se encontram subjacentes à Quarta Revolução Industrial: as nanotecnologias. Se pretendeu apresentar uma breve noção sobre o novo contexto tecnológico das chamadas nanotecnologias, bem como sua inserção do risco. Verifica-se que crescente a produção e a utilização das nanotecnologias, as quais podem trazer inúmeros benefícios à sociedade, contudo, paralelamente, os riscos se apresentam, e tal aspecto não é devidamente abordado no contexto jurídico do Direito ambiental.

As nanotecnologias se projetam no sistema social com uma marcada ambivalência: as possibilidades de contribuir para a solução de diversas

dificuldades atuais dos grupos sociais – sejam locais ou globais, como doenças, poluição, alimentação e qualidade de vida em geral. Por outro lado, não está bem claro se estes benefícios serão para todos os que têm estas necessidades e não se sabendo dimensionar exatamente os riscos que as nanopartículas poderão gerar e qual o nível de segurança e controle que se terá sobre elas. Pelos dados colhidos, pode-se verificar o crescimento dos produtos, que tenham alguma nanopartícula, no mercado consumidor.

Portanto, uma alternativa para efetiva gestão dos riscos nanotecnológicos seria a adoção da Economia Circular, a partir da sustentabilidade ambiental acompanhada, ainda, de um movimento transnacional, onde normas privadas instituídas por setores privados (organizações privadas) são expandidas e adotadas ao redor do mundo, na confluência da globalização. Aqui se terá a marcada contribuição de Günther Teubner, ao estudar as bases da “fragmentação constitucional”, a saber, ao invés de se ter apenas os contornos constitucionais no interior de cada país, se teria diversos centros produtores de normas de conduta, todas elas com centros “constitucionais”, mas não apenas vinculados aos textos constitucionais internos, mas a outros fundamentos, como a sustentabilidade ambiental e os elementos componentes da economia circular, que não são nacionais, mas globais. Portanto, além de se ladear a gestão dos riscos nanotecnológicos pela sustentabilidade e pelos elementos que integram a economia circular, se terá a efetiva contribuição das organizações que trabalham a partir da escala manométrica, que receberiam o *selo verde e responsável* de nanoproductos.

Somente através do respeito mínimo às bases do Direito Ambiental, no caso o princípio da sustentabilidade, é possível construir uma melhor gestão também para o desenvolvimento das nanotecnologias, uma vez que necessário adotar medidas precaucionais nesta área. Com a melhoria do ciclo de vida dos produtos nanotecnológicos, construindo uma estratégia ambiental desde sua produção, estendendo ao máximo sua utilização, faz-se jus ao enfrentamento adequado dos riscos nanotecnológicos. Como se observa, no Direito, não há regulamentação para tal nova tecnologia, de maneira que o meio jurídico não pode ficar inerte a este enfrentamento, o qual poderá encontrar no futuro próximo os chamados danos futuros ambientais. Por isso, a proposta de inovação responsável a ser perseguida pelas organizações que operam com nanomateriais e nanoproductos.

## REFERÊNCIAS

- BARBAT, A. S. *Estudios de Derecho de Seguros y Reaseguros*. Montevideo: La Ley Uruguay, 2016.
- BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BECK, Ulrich. *A metamorfose do mundo: novos conceitos para uma nova realidade*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Editora Zahar. 2018.
- BERTI, L. A.; PORTO, L. M. *Nanosegurança: guia de boas práticas em nanotecnologia para fabricação e laboratórios*. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- BRASIL. *Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016*. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei nº 6.815, de 19 de agosto de 1980, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, a Lei nº 12.462, de 4 de agosto de 2011, a Lei nº 8.745, de 9 de dezembro de 1993, a Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994, a Lei nº 8.010, de 29 de março de 1990, a Lei nº 8.032, de 12 de abril de 1990, e a Lei nº 12.772, de 28 de dezembro de 2012, nos termos da Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm)>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- BUSINESS EUROPE, 2015. *Circular economy: a key pillar of a strategic european resource policy*. Disponível em: <https://www.busineurope.eu/publications/circular-economy-key-pillar-strategic-european-resource-policy-how-companies-europe>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- CELLARD, André. A análise documental. In: POUPART, Jean et al. *A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos*. 4. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014, p. 295-316.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria. *Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira*. Brasília: CNI, 2018.
- DELMAS-MARTY, Mireille. *Libertés et sûreté dans un monde dangereux*. Éditions du Seuil, Paris, 2010.
- DURÁN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; MORAIS, Paulo Cezar de. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2006.
- ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologias e direitos humanos. *Cadernos de Direito Actual*. Nº 9. Núm. Ordinário (2018), p. 441-487. ISSN 2340-860X.
- EUROPEAN COMMISSION. *Financiamento Sustentável: Comissão congratula-se com a adoção pelo Parlamento Europeu do Regulamento Taxonomia*. Junho 2020. Disponível em: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip\\_20\\_1112](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_20_1112). Acesso em: 20 mar. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. High-Level Expert Group on key Enabling Technologies (HLG-KET). *Final Report: KETs: time to act*, Brussels, June 2015. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11082/attachments/1/translations>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

FOLHA DE SÃO PAULO. Europa cria 'selo verde' para priorizar investimento em atividades sustentáveis. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/06/europa-cria-selo-verde-para-priorizar-investimento-em-atividades-sustentaveis.shtml>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

FREITAS, Juarez. *Sustentabilidade: direito ao futuro*. Belo Horizonte: Fórum, 2012.

GRACIOUS Consortium. Disponível em: <https://www.h2020gracious.eu/about/consortium>. Acesso em: 14 mar. 2021.

HOHENDORFF, Raquel. *A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos: lidando com a improbabilidade da comunicação intersistêmica 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: 14 mar. 2021.

INTRODUCTION. Nanotechnology Products Database (NPD). [S.l.], 2021. Disponível em: <<http://product.statnano.com/>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

ISIAH, David. Automotive grade graphene: the ClockisTicking. *Automotive World*, Wales, Aug. 26 2015. Disponível em: <<http://www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ISO/TC 229. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/iso\\_technical\\_committee?commid=381983](http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983)>. Acesso em: 14 mar. 2021.

JIMÉNEZ, Araceli Sánchez *et al.* Safe(r) by design implementation in the nanotechnology industry. *In NanoImpact*, v. 20, 2020.

KÜHNEL, Dana *et al.* Environmental impacts of nanomaterials: providing comprehensive information on exposure, transport and ecotoxicity – the project DaNa2.0. *Environmental Sciences Europe*, v. 26, n. 21, 2014. Disponível em: <http://www.enveurope.com/content/26/1/21>. Acesso em: 14 mar. 2021.

LARSSON, S., JANSSON, M., BOHOLM, A. Expert stakeholders' perception of nanotechnology: risk, benefit, knowledge, and regulation. *J. Nanopart. Res.* v. 21, n. 57, 2019.

LASKOW, Sarah. The strongest, most expensive material on earth. *The Atlantic*. Washington, Sept. 23 2014. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2014/09/the-strongest-most-expensive-material-on-earth/380601/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

LAURINDO, M. *A viabilidade da economia circular à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos*: Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Monografia apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas. Florianópolis: 2016.

LEAL, Daniele W. S.; ENGELMANN, Wilson. *A autorregulação da destinação final dos resíduos nanotecnológicos (NANOWASTE): o Pluralismo Jurídico entre a gestão dos riscos e os protocolos da OECD*. 1. ed. São Leopoldo: Karywa, 2018. v. 1.

LÔBO, Paulo Luiz Netto. A Informação como Direito Fundamental do Consumidor. IN: MARQUES, Cláudia Lima; MIRAGEM, Bruno (Orgs.). *Doutrinas Essenciais. Direitos do Consumidor*. São Paulo: RT, 2011, vol. III, p. 527-82. (Edições Especiais).

LUHMANN, Niklas. *Sociedad y sistema: la ambición de la teoría*. Tradução de Santiago López Petit y Dorothee Schmitz. Barcelona: Paidós, 1990.

\_\_\_\_\_. *Sociología del riesgo*. Tradução de Silvia Pappe, Brunhilde Erker, Luis Felipe Segura. México: Universidad Iberoamericana, 2006.

LUZ, B. *Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática*. 1. ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.

OECD. *Observer*, abril de 2016. Disponível em: <[https://issuu.com/oecd.publishing/docs/oecdobserver\\_306\\_q2\\_2016\\_lowres/1?e=3055080/38458478](https://issuu.com/oecd.publishing/docs/oecdobserver_306_q2_2016_lowres/1?e=3055080/38458478)>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONUBR. *Objetivo 12*. Assegurar padrões de produção e de consumo. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods12/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONUBR. *Preâmbulo*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

PAVLICEK Anna *et al.* A European nano-registry as a reliable database for quantitative risk assessment of nanomaterials? A comparison of national approaches. *NanoImpact*, v. 21, 2021. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/nanoimpact](http://www.elsevier.com/locate/nanoimpact). Acesso em: 14 mar. 2021.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. *REVISTA AD NORMAS*, Setembro de 2018. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/04/a-avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv-e-a-economia-circular/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

REGINATO, Andréa Depieri de A. Uma introdução à pesquisa documental. In: Machado, Máira Rocha (Org.). *Pesquisar empiricamente o direito*. São Paulo: Rede de Estudos Empíricos em Direito, 2017, p. 189-224.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Direitos ambientais procedimentais: acesso à informação, à participação pública na tomada de decisão e acesso à justiça em matéria ambiental. *Revista Novos Estudos Jurídicos - Eletrônica*, Vol. 23 - n. 2 - maio-ago 2018. Doi:10.14210.

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

\_\_\_\_\_. *Aplicando a Quarta revolução industrial*. Tradutor Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2018.

SIMEONE, Felice C. *et al.* Assessing occupational risk in designs of production processes of nano-materials. *NanoImpact*, v. 14, 2019. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/nanoimpact](http://www.elsevier.com/locate/nanoimpact). Acesso em: 14 mar. 2021.

SOETEMAN-HERNÁNDEZ, Lya G. *et al.* Modernizing innovation governance to meet policy ambitions through trusted environments. *In NanoImpact*, v. 21, 2021.

SUNSTEIN Cass R. Ruining popcorn? The welfare effects of information. *Journal of Risk and Uncertainty*. v. 58, 2019, p. 121-142.

SUSTENTÁVEL 2018. *Resumo final*. 2018. Disponível em: <http://cebds.org/publicacoes/-resumo-final-sustentavel-2018/#.W81JXmhKjIU>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

THE CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY. *About us*. Madison, 2015. Disponível em: <https://susnano.wisc.edu/about/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

THE GUARDIAN. What is nano? Is nano a cleaner option?. Out. 2013. Disponível em: [https://www.theguardian.com/what-is-nano/nano-a-cleaner-option?CMP=share\\_btn\\_link](https://www.theguardian.com/what-is-nano/nano-a-cleaner-option?CMP=share_btn_link)>. Acesso em: 14 mar. 2021.

VAN WEZEL, A. P. *et al.* Risk analysis and technology assessment in support of technology development: putting responsible innovation in practice in a case study for nanotechnology. *Integr. Environ. Assess. Manag.* v. 14, 2018, p. 9-16.

Von Schomberg, René. A vision of responsible innovation. In: OWEN, Richard; BESSANT, John; HEINTZ, Maggy (Ed.). *Responsible innovation: managing the responsible emergence of science and innovation in society*. Nova Jersey: Wiler, 2013.

WEZEL, Annemarie P. van *et al.* Risk analysis and technology assessment in support of technology development: putting responsible innovation in practice in a case study for nanotechnology. *Integrated Environmental Assessment and Management*, Pensacola, v. 14, n. 1, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28901636>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

WHITE, Jason C.; GARDEA-TORRESDEY, Jorge. Achieving food security through the very small. Nanotechnology and agriculture. Published: 06 August 2018. *Nature*

*Nanotechnology*. v. 13, p. 627–629 (2018). Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41565-018-0223-y>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ZAFRA, E. “Siete retos para el futuro de la nanotecnología española”, *MIT Technology Review*, 06 Septiembre, 2012. Disponível em: <<https://www.technologyreview.es/s/2967/siete-retos-para-el-futuro-de-la-nanotecnologiaespanola>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ZEB, Aurang et al. Knowledge domain and emerging trends in nanoparticles and plants interaction research: A scientometric analysis. *NanoImpact*, v. 21, 2021. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/nanoimpact](http://www.elsevier.com/locate/nanoimpact). Acesso em: 14 mar. 2021.

Submissão em: 23.06.2019

Avaliado em: 10.02.2021 (Avaliador A)

Avaliado em: 10.12.2020 (Avaliador B)

Avaliado em: 09.03.2021 (Avaliador D)

Aceito em: 10.03.2021