

## INTERSECÇÕES ENTRE A ECONOMIA CIRCULAR, RASTREABILIDADE E NANOTECNOLOGIAS NA ERA DA 4.<sup>a</sup> REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

*Wilson Engelmann<sup>1</sup>*

*Daniele Weber S. Leal<sup>2</sup>*

*Mônica Welchen Siqueira<sup>3</sup>*

**Resumo:** Em plena era nanotecnológica e 4.<sup>a</sup> Revolução Industrial, possível observar o desenvolvimento de novas tecnologias, tratamento de dados, internet das coisas, carros autônomos, dentre outras tantas novidades inseridas na sociedade. A exploração das nanotecnologias apresenta um potencial enorme de benefícios em produtos e materiais, como medicações revolucionárias para tratamento de câncer, nanotecnologia utilizada na construção civil, agricultura etc. Atrelado ao benefício vem o risco nanotecnológico, o qual busca-se minimizar de alguma forma. No caso deste estudo, propõe-se: de que maneira a economia circular e a rastreabilidade destes nanomateriais poderiam minimizar o potencial dano ao meio ambiente e saúde humana. Utilizar-se-á a metodologia sistêmico-constructivista.

**Palavras-chave:** nanotecnologias; gestão do risco; economia circular; rastreabilidade.

**Abstract:** In the midst of the nanotechnology era and the 4th Industrial Revolution, it is possible to observe the development of new technologies, data processing, internet of things, autonomous cars, among many other innovations inserted in society. The exploration of nanotechnologies has enormous potential for benefits in products and materials, such as revolutionary medications for cancer treatment, nanotechnology used in civil construction, agriculture, etc. Linked to the benefit comes the nanotechnological risk, which we seek to minimize in some way. In the case of this study, it is proposed how the circular economy and the traceability of materials could minimize the potential damage to the environment and human health, still using the systemic-constructivist methodology.

**Keywords:** nanotechnologies; risk management; circular economy; traceability.

---

<sup>1</sup> Pós-Doutor em Direito Público-Direitos Humanos pela Universidade de Santiago de Compostela; Professor do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios e do Programa de Pós-Graduação em Direito-UNISINOS; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Líder do Grupo de Pesquisa JUSNANO. Email: wengelmann@unisinós.br.

<sup>2</sup> Doutoranda (bolsista CAPES/PROEX) e Mestre em Direito Público pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos -UNISINOS. Especialista em Direito Público -LFG. Integrante do grupo de pesquisa JUSNANO (Cnpq). Professora universitária UNIFTEC (FTEC Zona Norte Porto Alegre) e Faculdade São Judas Tadeu. Advogada. Email: weber.daniele@yahoo.com.br;

<sup>3</sup> Estudante do 8.º semestre da graduação em Direito da Ftec Novo Hamburgo. Estagiária da Defensoria Pública de Campo Bom. E-mail: monicawelchens@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

Pelo que se acompanha, a chamada Quarta Revolução Industrial (SCHWAB, 2016) vem gerando impactos e avanços tecnológicos, trazendo mudanças históricas em termos de tamanho, velocidade e escopo e ainda não se sabe os desdobramentos destas transformações, sua complexidade e interdependência.

Uma das grandes mudanças originadas pela quarta revolução industrial diz respeito à produção de nanopartículas engenheiradas. A utilização industrial da escala nanométrica está avançando rapidamente sem que se tenha uma certeza científica sobre a segurança das nanopartículas e sem que a área jurídica tenha construído marco regulatório específico. As nanotecnologias vêm acompanhada de incertezas científicas quanto seus efeitos e (possíveis?) danos futuros ao meio ambiente e vida humana.

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.

Observa-se no cotidiano da vida humana o consumo cada vez maior de inúmeros novos produtos com nanotecnologia, nas mais diversas áreas. Os produtos e setores onde se podem encontrar nanopartículas são: alimentação; aparelhos domésticos; medicina; petróleo; impressoras; energias renováveis; esporte e fitness; têxteis; agricultura; automotivo; construção; cosméticos; eletrônicos, bem como a utilização para fins ambientais. Inclusive esse amplo rol é aberto devido ao processo contínuo de desenvolvimento das nanotecnologias. Em pesquisa na Nanotechnology Products Database (INTRODUCTION, 2022) realizada em julho 2022, se encontraram os seguintes dados: 9.928 produtos diferentes com nanopartículas, produzidos por 3.065 empresas distribuídas por 64 países. Tais produtos trazem a promessa de benefícios e utilidades nunca antes pensados, despertando nos consumidores e sociedade em geral a curiosidade. Desta maneira, o consumo destas criações em escala nano vêm sendo cada vez maior, com um universo de novidades despejadas no mercado diariamente.

Assim, como poderia a Ciência do Direito efetuar uma espécie de gestão, ou minimização do risco nanotecnológico? Há possibilidade de um (nano) desenvolvimento mais sustentável?

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

Indo ao encontro desta inquietação, observa-se um movimento global, principalmente na Europa, que implementam a chamada Economia circular (concretizando ainda os Objetivos do Desenvolvimento sustentável da ONU). A economia circular e (nano) sustentabilidade são temas há muito discutidos no cenário europeu, como no recente relatório publicado pela OECD, que explica que os recursos materiais constituem a base física da economia. Sua extração, processamento e uso têm consequências ambientais, econômicas e sociais em países e além das fronteiras nacionais. Economia circular e gestão sustentável de materiais são fundamentais para evitando o desperdício de materiais finitos e arriscando seu uso ineficiente na economia. O progresso é medido por meio de indicadores sobre o uso de materiais, a geração de resíduos e a recuperação de materiais de resíduos (OECD, 2020).

Outra possibilidade nessa gestão seria implementar a rastreabilidade dos nanomateriais, seguindo os moldes da proposta o projeto de lei n.º 7.088/2017, que versa sobre proposta de rastreabilidade de resíduos sólidos perigosos, constituindo um modelo para a esta nova era nano.

O problema de pesquisa deste artigo, portanto, pode ser assim definido: Em que medida a economia circular e a rastreabilidade trariam contribuições para assegurar um meio ambiente mais seguro e sustentável onde se encontram as nanopartículas, compatível com a proteção da saúde humana?

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

Assim, neste contexto de novos direitos inseridos na Quarta Revolução Industrial, propõe-se analisar, mesmo que de forma inicial, de que maneira a rastreabilidade e/ou a economia circular trariam contribuições à era nanotecnológica, minimizando a questão do risco, bem como observar a inserção desta nova tecnologia na sociedade e evolução na produção.

## 2 COMPREENDENDO A ERA DO NANORISCO

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

O termo nanotecnologia tem despertado controvérsias acerca das medidas que devem ser consideradas para a categorização de um produto ou processo que esteja sendo trabalhado na nano escala. Portanto, deve-se partir de uma padronização e assim, adota-se aqui a definição desenvolvida pela International Organization for Standardization (ISO) - ISO/TC 229 (ISO, 2019), onde se verificam duas características fundamentais: a) produtos ou processos que estejam tipicamente, mas não exclusivamente, abaixo de 100nm (cem nanômetros); e b) nesta escala, as propriedades físico-químicas devem ser diferentes dos produtos ou processos que estejam em escalas maiores. Para dar uma ideia desta escala, um fio cabelo humano está entre 10.000 a 100 000 nm, um único glóbulo vermelho tem diâmetro de cerca de 5.000 nm, os vírus normalmente têm dimensão máxima de 10 nm a 100 nm e uma molécula de ácido desoxirribonucleico (DNA) tem diâmetro de cerca de 2nm. O termo nanotecnologia pode ser enganador, uma vez que não é uma única tecnologia ou disciplina científica. Em vez disso, é um agrupamento multidisciplinar de processos, materiais, aplicações e conceitos físicos, químicos, biológicos, de engenharia e eletrônicos em que a característica definidora é tamanho (ISO, 2017).

Nanotecnologia já foi indicada como a solução para 5 dos 8 Objetivos do Milênio das Nações Unidas para combater a pobreza. Entre estas soluções estão os nanossensores e nanocomponentes para melhorar o fornecimento de água e fertilizantes às plantas, de modo a reduzir a pobreza e a fome no mundo. Para alimentar uma população de baixa renda e de constante crescimento, sob escassez de recursos naturais, o Banco Mundial, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2019) e outras organizações internacionais estão promovendo a "intensificação sustentável" como o futuro da produção agrícola. A aplicação de nanotécnicas às culturas agrícolas é uma das ferramentas propostas

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

para "intensificação sustentável". A expressão típica de esperança para uma solução tecnológica para uma ampla gama de problemas é: A nanotecnologia mantém a promessa de novas soluções para os problemas que dificultam o desenvolvimento dos países pobres, especialmente em relação à saúde e saneamento, segurança alimentar, e o ambiente (SUPAN, 2013).

As nanopartículas representam novos riscos, porque possuem maior reatividade química do que as partículas maiores. Assim, acabam tendo maior acesso a nosso organismo, podem possuir uma maior biodisponibilidade e uma maior bioatividade. Ainda se sabe muito pouco sobre a nanotoxicidade (MILLER; SENJEN, 2008, p.46-50). Não se sabe que níveis de nanoexposição enfrentam-se atualmente, que níveis de exposição poderiam ter efeitos nocivos para a saúde humana ou se existe um nível inócuo de exposição e, além disso, são pouquíssimos os estudos experimentais de longo prazo para investigar o potencial de toxicidade crônica destes novos produtos.

O cenário é no sentido de Schwab (2016, p.12) afirma, de que as mudanças são tão profundas que, na perspectiva da história da humanidade, nunca houve um momento tão potencialmente promissor ou perigoso”.

A toxicidade para o ecossistema, os resíduos potenciais que podem ser depositados nos alimentos, e a fitotoxicidade dos nanomateriais são algumas das maiores preocupações para a aplicação dos nanomateriais no ecossistema (ILLUMINATO, 2009).

Até pouco tempo, a ciência caracterizava-se pela certeza em fornecer respostas, mas, no atual cenário, a certeza foi substituída pelas dúvidas. A tradição mostra que a ciência estava moldada a partir de determinadas características, como: buscar conhecer o mundo circundante, a fim de “[...] descrevê-lo, interpretá-lo, compreendê-lo, explica-lo e, no melhor dos casos, prever a priori os acontecimentos que vão ocorrer, e retroceder o que ocorreu, explicando-o melhor” (ECHEVERRÍA, 2009, p.23). Como as nanopartículas são muito pequenas, medindo menos de um centésimo de bilionésimo de metro, são regidos por leis físicas muito diferentes daquelas com as quais a ciência está acostumada. Existem probabilidades de que as nanopartículas apresentem grau de toxicidade maior do que as partículas em tamanhos normais, podendo assim ocasionar riscos à saúde e segurança de pesquisadores, trabalhadores e consumidores (RIKILT, 2007). Materiais em nanoescala podem ser biologicamente mais ativos do que os materiais em tamanho macro, e possuem capacidade única de interagir com proteínas e outros elementos funcionais biológicos essenciais. Assim, a pesquisa básica é necessária em

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

questões como a interação com as estruturas subcelulares e dose/concentração, e esta pesquisa deve ter uma abordagem interdisciplinar, fazendo uso de especialistas em toxicologia, ciência dos materiais, medicina, biologia molecular e bioinformática (FDA,2007).

Assim, o desenvolvimento da nanotecnologia ocorreu na ausência de regras claras para os desenvolvedores de materiais químicos e sobre a forma de integrar as questões de saúde, segurança e meio ambiente. A área emergente de "nanotecnologia verde" oferece a promessa para o futuro com o seu foco no design preventivo e precaucional. Para ganhar força, no entanto, é importante que a investigação sobre a sustentabilidade dos materiais seja financiada em níveis bastante significativos para identificar precocemente os avisos, e que os sistemas de regulação forneçam incentivos para materiais mais seguros e sustentáveis (HANSEN,2013). Alexandra Aragão (2008, p.20) lembra que “os riscos são importantes e as consequências graves demais para ficarmos a espera de provas irrefutáveis e do consenso científico geral em torno delas.” E Carla Amado Gomes (2011, p.143) ressalta que “decidir sobre o risco é avaliar e gerir a incerteza na medida do possível, mas deve ser ainda decidir.”

O Direito deve passar a ocupar importante papel na gestão dos riscos, e, para tanto, é possível vislumbrar algumas alternativas para minimização do risco? Ou melhor, de que forma seria viável ao menos um (nano) desenvolvimento mais sustentável? Na busca por respostas aptas à tamanha complexidade, possível apresentar, mesmo que de forma incipiente, a proposta aplicada no cenário europeu, da chamada Economia Circular, e ousar ainda estudar a ideia de rastreabilidade, nos moldes de Projeto de lei em curso no Brasil, com foco nos resíduos sólidos perigosos.

Inegável é a necessária responsabilidade planetária de verdade: o reconhecimento do fato de que todos nós, que compartilhamos o planeta, dependemos uns dos outros para nosso presente e nosso futuro; de que nada que fazemos ou falhamos ao fazer é indiferente para o destino de qualquer outra pessoa; e que já não podemos, nenhum de nós, buscar e encontrar abrigos privados para tempestades originadas em qualquer parte do globo (BAUMAN, 2011,p.35).

### **3 ECONOMIA CIRCULAR E A RASTREABILIDADE: UMA BOA (E EFETIVA) ALTERNATIVA PARA MINIMIZAÇÃO DO NANORISCO?**

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. Há 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 (THE CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY, 2022).

Somente aliando a sustentabilidade ao desenvolvimento nano tornar-se-á viável a chamada gestão do risco, inerente a toda nova tecnologia.

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 (SCHWAB, 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 (SOETEMAN-HERNÁNDEZ, Lya G. et al, 2021).

Amparada nessa urgente mudança é que se elenca como alternativa a Economia circular, com os fundamentos da sustentabilidade. Tal alternativa atraente busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade (PRADO FILHO, 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



## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

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 Mac Arthur 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 (PRADO FILHO, 2018).

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 (CNI, 2018). 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 (LAURINDO, 2016).

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 (BUSINESS EUROPE, 2015) e em última análise a conjugação dos componentes da sustentabilidade ambiental e da



## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

economia circular se encontram na base da denominada “pesquisa e inovação responsáveis” (LARSSON, S., JANSSON, M., BOHOLM, 2019, p.9-16).

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 (LUZ, 2017).

Frente o cenário das novas tecnologias, comportamentos até então impensáveis, por conta de sua inovação, na maioria das vezes não possui previsão legal específica, o que redunde e oportunidade única para o empreendedor, pois estabelece-se um contexto de completa falta de regulação para o novo modelo, visto que não há como o legislador ou agência reguladora elaborarem norma para conduta e práticas ainda inexistentes. Somado a isso, existe a dificuldade de acompanhar as mudanças constantes, características para estabelecer parâmetros legais que se adequem com a realidade da atividade desenvolvida (FEIGELSON, SILVA, 2019). E justamente por esse contexto é que se necessita buscar outros meios, como a economia circular acima explanada. Entretanto, outro modelo que poderia ser seguido é o da rastreabilidade.

### **3.1 A rastreabilidade como modelo de sustentabilidade para as nanotecnologias**

O Direito, em muitas situações, vem a reboque dos fatos, o que no caso das dinâmicas disruptivas é algo ainda mais perceptível, pois tais modelagens avançam na vida social em velocidade incompatível com os movimentos normativos. Em resumo, a análise vai ao encontro deste estudo, a qual concorda que impõe-se ao Estado assimilar as inovações em termos de

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

regulação autônoma, como espécie de *open regulation*, garantindo ainda o interesse público face regulações informações existentes:

O que frequentemente observamos é um grande lapso temporal separando a popularização da utilização das novas dinâmicas disruptivas e a regulamentação legal e infralegal de tais práticas sociais e econômicas. Com isso, não se faz mais suficiente pensar apenas na concepção já estabelecida de um “Estado Regulador” como uma organização jurídico-institucional marcada pela atuação independente de órgãos setoriais, em que se tem uma transferência de atividade produtora do Estado ao mercado, restando ao primeiro “conduzir” (*steer*) e não mais “remar”(row). A ideia de regulação deveria existir para, em nome da garantia do interesse público, corrigir falhas de mercado, protegendo o consumidor dos efeitos não desejáveis do mercado, aos poucos está se tornando obsoleta. Assim sendo, propomos uma alternativa distinta da abordagem tradicional de participação externa na regulação ao *open regulation*. Pretende-se defender que, da mesma forma que as grandes corporações assimilaram nesse novo século a perspectiva de adotar modelos abertos de inovação, o Estado deve buscar novas metodologias para interagir com ela (FEILGELSON, SILVA, 2019, p. 76).

Ante a inércia ou até mesmo impossibilidade do Estado conseguir regular novas tecnologias, importante buscar outros instrumentos com potencial regulatório. Uma vez que se busca aliar o desenvolvimento nano à sustentabilidade, observa-se com grande possibilidade a chamada rastreabilidade, nos moldes do projeto de lei n.º 7.088/2017, que busca a alteração da Política de Resíduos Sólidos para rastrear os resíduos perigosos.

Hoje a questão dos resíduos sólidos, principalmente, o resíduo sólido perigoso é um dos graves problemas ambientais a serem enfrentados pelas autoridades e que ainda necessita de uma série de providências para que a própria Política Nacional de Resíduos Sólidos seja cumprida a contento, para evitar ou minimizar os danos ambientais causados pela gestão e gerenciamento inadequados destes resíduos. Assim, procuram os pesquisadores e cientistas tentar dirimir e evitar os danos causados por estes resíduos, através da necessária gestão e o gerenciamento destes de forma adequada. A rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos, portanto, é um meio de tentar efetuar esse monitoramento e controle da gestão dos resíduos (ENGELMANN, LEAL, 2020).

Assim, a correta gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos perigosos é hoje o maior desafio na questão das Políticas Públicas na área de resíduos, principalmente, como efetuar o monitoramento dos resíduos sólidos perigosos do gerador até a destinação ou disposição final ambientalmente adequada (MATOS, SILVA, 2017). Se o resíduo sólido perigoso traz essa discussão, ante o risco ao meio ambiente, possível conectar aos resíduos com nanotecnologia,

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

que inclusive apresentam potencial ainda maior de toxicidade, conforme apresentado anteriormente quando explorado o namorisco.

É diante desse dilema que se vislumbra uma ideia interessante e caso implementada, efetiva, na gestão dos resíduos com nano, no mesmo sentido explorado pelo Projeto de lei acima mencionado.

Como ensina Russo (2003), “Os resíduos sólidos incluem materiais sólidos ou semissólidos provenientes das atividades humanas e que são rejeitados pelos seus produtores”. Tais resíduos sólidos são classificados de acordo com sua origem, tipo de resíduo e composição química e periculosidade. A correta classificação do resíduo sólido é de extrema relevância para que se proceda a correta gestão e gerenciamento do resíduo sólido, assim minimizando ou tentando minimizar os efeitos danosos à saúde humana e ao meio ambiente. Assim, quando a periculosidade, os resíduos sólidos são classificados em resíduos sólidos perigosos e resíduos sólidos não perigosos (MATOS, SILVA, 2017).

Apresenta-se a seguir duas definições, a começar por Derisio (2012, p. 172):

Aqueles resíduos ou mistura de resíduos que, por sua natureza (inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade) e por suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar: risco à saúde pública, provocando ou acentuando um aumento de mortalidade por incidência de doenças; riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Pela explanação, é possível concluir que os resíduos perigosos demandam uma gestão própria e com maior cuidado quanto a sua destinação. Se a própria política de resíduos sólidos já estabelece os procedimentos mínimos necessários para sua gestão, em virtude da periculosidade, imagine-se o paralelo com os resíduos nano tecnológicos, os quais possuem potencial imenso de dano (futuro), estando presente a capacidade de risco e toxicologia apresentada em diversas pesquisas postas ao longo deste projeto. Tais resíduos possuem capacidade de dano inimaginável, nunca antes pensado pela comunidade científica, dada sua particularidade. Portanto, se já nos resíduos perigosos é necessário todo procedimento especial quanto seu manejo e destinação final, maior cautela e cuidado deverá ter o manocaste (ENGELMANN, LEAL, 2020).

Desta maneira, dada a importância da gestão dos resíduos sólidos perigosos, foi proposta a alteração na Lei 12.305/2010, da Política de resíduos sólidos, a fim de estabelecer novo procedimento para rastreabilidade destes rejeitos.

Olsen (2009) explica que a rastreabilidade pode ser entendida como capacidade de traçar a história, aplicação ou localização de um determinado produto ou produtos através de identificação.

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

Assim, pode-se identificar a origem dos materiais ou componentes, a história de produção do produto, ou ainda, a distribuição e a localização do produto depois de pronto. Entende-se assim como rastreabilidade de resíduo a capacidade de se verificar a quantidade e qualidade do resíduo desde o gerador até a destinação ou disposição final ambientalmente adequada. Assim, identificar quanto saiu, de onde saiu, por onde passou, quem transportou, para onde foi e quanto tempo levou o resíduo sólido perigoso, desde o gerador até a disposição final. A rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos tem o intuito de tentar minimizar o grande número de problemas decorrentes da gestão e gerenciamento inadequados destes resíduos, comumente noticiados pela mídia brasileira. Uma vez que tais resíduos são altamente danosos à saúde humana e ao ambiente devido às suas características (MATOS, SILVA, 2017).

Para tentar minimizar o problema da falta de previsão na legislação brasileira de mecanismos capazes de efetuar a rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos existe um Projeto de lei na Câmara dos Deputados apresentado em 14/03/2017, cuja a ementa é Altera a Lei nº 12.305, de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para dispor sobre o rastreamento de resíduos perigosos.

O Projeto de lei é o Projeto nº 7088/2017 que estabelece no art. 1º que seja acrescentado na Política Nacional de Resíduos sólidos o art. 37-A com a seguinte redação: “Art. 37-A. É obrigatória a implantação, pelo operador de resíduos perigosos, de dispositivo móvel e remoto de rastreamento dos veículos e embarcações usados para o transporte desses resíduos” (BRASIL, 2022).

Portanto, com tal alteração, adequada à implantação da rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos, que seria capaz de traçar toda a história, localização, monitorando e identificando o tipo e quantidade de resíduo desde o gerador, operador e até a disposição final ambientalmente adequada. Esta proposta legislativa vai concretamente ao encontro das urgentes e necessárias propostas de regulação para as nanotecnologias, principalmente quando se foca no nanowaste, este que vem sendo descartado no meio ambiente sem qualquer cuidado ou protocolo.

O Projeto de Lei nº 7088/2017 abre caminho para discussão legislativa e é uma esperança de trazer a reflexão à sociedade brasileira sobre a importância da rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos. Uma vez que tais resíduos devido às suas características geram maiores danos à saúde humana e ao ambiente, quando gerenciados de forma incorreta (MATOS, SILVA, 2017).

Desta maneira, é adequada a proposta de rastreabilidade das nanotecnologias e resíduos nanotecnológicos, ou ainda dando abertura maior necessária, de berço ao berço, pois trazem

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

maior risco e potencial dano ao meio ambiente e vida humana do que os resíduos perigosos. Prepondera o princípio da Sustentabilidade a fim de preservar os recursos ambientais, e para promover o desenvolvimento e descarte adequado dos nanomateriais.

### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comunicação aberta entre indústria, governo, universidades (GRIEGER; BAUN; OWEN, 2010, p.383-392) e grupos de consumidores, desenvolvimento das normas reguladoras adequadas, e mais pesquisa sobre os riscos ambientais e de saúde, são alguns dos fatores que pode aumentar a confiança do público e aceitação de aplicações da nanotecnologia (BUGUSU et al, 2011, p.166). No entanto, na maioria das vezes, os efeitos destes novos produtos sobre a saúde de quem os manipula, a saúde do meio ambiente onde serão aplicados e onde seus resíduos permanecerão, bem como sobre a saúde de quem consome os produtos ainda são desconhecidos, podendo apenas tornar-se aparentes com o passar do tempo e a bioacumulação.

A estrutura jurídica existente hoje não nos permite tratar do tema adequadamente, uma vez que exige certezas antes da tomada de decisões, bem como espera a ocorrência do fato danoso, para que, então, o Direito, como historicamente tem acontecido, passe a agir. E, assim, têm-se as nanotecnologias como mais um desafio ao Direito, em termos de manutenção de saúde e segurança dos humanos e do meio ambiente.

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 (ENGELMANN, LEAL, 2020).

Portanto, uma alternativa para efetiva gestão dos riscos nanotecnológicos seria a adoção da Economia Circular, a partir da sustentabilidade ambiental acompanha, 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. De

## Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

outro modo, a partir da implementação de instrumento (auto) regulatório, com modelo neste projeto, de rastreabilidade das nanotecnologias, a gestão do risco seria efetiva, uma vez que os estes produtos seriam controlados, monitorados, e receberiam as cautelas que o risco impõe, de maneira a viabilizar uma logística adequada para o descarte do nanowaste.

O grande desafio das nanotecnologias é, quanto sociedade, que possamos usufruir dos inúmeros benefícios e, ao mesmo tempo, evitar e limitar os possíveis danos associados com a saúde humana e riscos ambientais. No caso do Brasil, verifica-se que tem ocorrido destinação de verbas públicas para a pesquisa dos riscos dos produtos nanotecnológicos, sendo que o campo da saúde, tanto humana quanto ambiental, muitas vezes tem sido colocado à margem das discussões. Enfim, esta é a realidade, vazia de conhecimentos e investimentos acerca dos riscos, e portanto, a contribuição da ciência do Direito na busca por alternativas para gestão e equilíbrio ecológico seria apresentar as alternativas acima apresentadas, ou, no mínimo, sugeri-las para o debate.

### REFERÊNCIAS

ARAGÃO, Alexandra. *Princípio da precaução*: manual de instruções. Revista do Centro de Estudos Direito do Ordenamento, do Urbanismo e do Ambiente, Coimbra, v. 2, a. XI, n. 22, 2008.

BAUMAN, Zygmunt. *A ética é possível num mundo de consumidores?* Tradução Alexandre Werneck. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2011.

BRASIL. Câmara de deputados. *Projeto de lei n.º 7.088 de 2017*. Altera a Lei nº 12.305, de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para dispor sobre o rastreamento de resíduos perigosos. Disponível em: <  
<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2125270>>. Acesso em 01 jul. 2022.

BUGUSU, Betty; LAY MA, Ursula Vanessa; FLOROS, John D. Products and their commercialization. In: FREWER, Lynn J.; NORDE, Willem; FISCHER, Arnout R.H.; KAMPERS, Frans W.H. *Nanotechnology in the Agri-Food Sector. Implications for the future*. Weinheim: Wiley-VCH, 2011.

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-europeanresource-policy-how-companies-europe>. Acesso em: 14 jul. 2022  
CNI, Confederação Nacional da Indústria. *Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira*. Brasília: CNI, 2018.



Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

DERISIO, José Carlos. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 4ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

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; LEAL, Daniele Weber S. A sociedade nanotecnológica e novos desafios do direito ambiental: entre a sustentabilidade e a economia circular para gestão do (nano)risco. In: *Revista da AJURIS* – Porto Alegre, v. 47, n. 149, Dezembro, 2020

FOOD and agriculture organization of the united nations (FAO); world health organization (who). *Agenda of the meeting: Joint FAO/WHO Seminar Nanotechnologies in Food and Agriculture* FAO. Rome, Mar. 27 2019. Disponível em: <[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/agns/news\\_events/Nano\\_Seminar\\_Agenda\\_FINAL.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/news_events/Nano_Seminar_Agenda_FINAL.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2020

FDA. FOOD and Drug Administration. *Nanotechnology a report of the u.s. food and drug administration nanotechnology task force*. Jul. 2007. Disponível em: <<http://www.fda.gov/downloads/scienceresearch/specialtopics/nanotechnology/ucm110856.pdf>>. Acesso: em 08 jul. 2022.

FEIGELSON, Bruno; SILVA, Luiza Caldeira Leite. Regulação 4.0: Sandbox regulatório e o futuro da regulação. P.75-88. In: BECKER, Daniel; FERRARI, Isabela. *Regulação 4.0: novas tecnologias sob a perspectiva regulatória*. São Paulo: Thompson Reuters Brasil, 2019

ECHEVERRÍA, Javier. Interdisciplinarietà y convergencia tecnocientífica nano-bio-info-cogno. In: *Sociologias*, Porto Alegre, a. 11, n. 22, Jul./Dez. 2009.

GRIEGER, Khara D.; BAUN, Anders; OWEN, Richard. Redefining risk research priorities for nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 12, 2010. p. 383–392.

HANSEN, Stephen Foss. *Nanotechnology: early lessons from early warnings*. In: “Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. European Environment Agency, 2013. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

ILLUMINATO, I.S. *Binding Particles to Patience e Nanotechnology in a True Context of Sustainability*. OECD conference on potential environmental benefits of nanotechnology: Fostering Safe Innovation-Led Growth, Jul. 2009. Disponível: <<http://www.foe.org>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *Ballot on ISO/DTR 12885: nanotechnologies: health and safety practices in occupational settings*. Geneva, 2017.



Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO/TC 229: nanotechnologies*. Geneva, 2005. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/standards\\_development/technical\\_committees/list\\_of\\_iso\\_technical\\_committees/iso\\_technical\\_committee.htm?commid=381983](http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983)>. Acesso em: 15 jul. 2022.

INTRODUCTION. *Nanotechnology Products Database (NPD)*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<http://product.statnano.com/>>. Acesso em: 21 jul. 2022

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

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

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

MATOS, Erika T. A. R. de; SILVA, Rodrigo Rabelo de Matos. *A atual situação da rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos na legislação brasileira*. Direito ambiental e socioambientalismo II [Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI. Coordenadores: Erivaldo Cavalcanti e Silva Filho; Everton Das Neves Gonçalves; Maria Dos Remédios Fontes Silva- Florianópolis: CONPEDI, 2017.

MILLER, Georgia; SENJEN, Rye. Del laboratorio a la cadena alimentícia: La nanotecnología em los alimentos y La agricultura. In: FOLADORI, Guillermo; INVERNIZZI, Noela (coord.). *Nanotecnologías en la Alimentación y Agricultura*. Montevideo: Universidad de La Republica, 2008.

OECD (2020), *Environment at a Glance 2020*, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/4ea7d35f-en>>. Acesso em: 21 jul. 2022

OLSEN, Petter - *Harmonizing methods for food traceability process mapping and cost/benefit calculations related to implementation of electronic traceability systems*. Tromsø, Noroega: Nofima, 2009. Disponível em: < <http://www.nofima.no/filearchive/Rapport%2015-2009.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2022.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. *REVISTA AD NORMAS*. Setembro 2018. Disponível em: .Acesso em: 14 jun. 2022.

RIKILT - Institute of Food Safety. Health impact of nanotechnologies in food production. Report 2007.014. Disponível em:

Volume 11 – Número 1 (2022) - Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil

<<http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/healthimpactnanotechnologies.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

RUSSO, Mario Augusto Tavares. *Tratamento de Resíduos Sólidos*. Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em: <<http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>>. Acesso em: 07 jul 2022

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

SCHWAB, Klaus. *Aplicando a Quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2018  
SOETEMAN-HERNÁNDEZ, Lya G. et al. Modernizing innovation governance to meet policy ambitions through trusted environments. In *NanoImpact*, v. 21, 2021

SUPAN, Steve. *Nanomaterials in soil. Our Future food chain?* Institute for Agricultural and Trade Policy: ATP, 2013. Disponível em: <[http://www.iatp.org/files/2013\\_04\\_23\\_Nanotech\\_SS.pdf](http://www.iatp.org/files/2013_04_23_Nanotech_SS.pdf)>. Acesso em: 15 jul 2022.

THE CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY. *About us*. Madison, 2015. Disponível em: Acesso em: 14 jul. 2022.